

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.com



КЛАССИКИ
НАУКИ



Леонард
ЭЙЛЕР

«РАС»

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

КЛАССИКИ НАУКИ



Leonhard
EULER

LETTRES À UNE PRINCESSE
D' ALLEMAGNE SUR DIVERS
SUJETS DE PHYSIQUE
ET DE PHILOSOPHIE



ST. PETERSBURG
«NAUKA»
2002

Леонард ЭЙЛЕР

ПИСЬМА К НЕМЕЦКОЙ ПРИНЦЕССЕ О РАЗНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЛОСОФСКИХ МАТЕРИЯХ

Издание подготовили

М. А. Бобович, О. С. Заботкина, М. А. Зубков,
Ю. Х. Копелевич, Н. И. Невская, Е. П. Ожигова
Я. А. Смородинский



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
«НАУКА»

УДК 93/94
ББК 72.3
Э 30

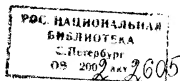
Серия «Классики науки»

Основана академиком С. И. ВАВИЛОВЫМ в 1945 г.

Редакционная коллегия серии:

П. В. СИМОНОВ (председатель), В. А. КАБАНОВ, С. П. КАПИЦА,
Ю. А. ОСИПЬЯН, А. М. ПРОХОРОВ, А. С. СПИРИН, К. В. ФРОЛОВ,
А. Н. ШАМИН

Ответственный редактор
Н. И. НЕВСКАЯ



© Издательство «Наука», 2002
© Российская академия наук и издательство «Наука»,
серия «Классики науки» (разработка, оформление),
1945 (год основания), 2002

ISBN 5-02-028521-8

ТОМ ПЕРВЫЙ

*О протяженности*Мадам!¹

Надежда продолжить с Вашим Высочеством занятия по геометрии, по-видимому, вновь не сможет осуществиться, что весьма для меня прискорбно.² Поэтому я хотел бы прибегнуть к изложению в письменной форме — в той мере, в какой это допускает характер предмета.

Для пробы я постараюсь объяснить В. В., как составить себе точное представление о длине, включая самые малые и самые большие пространства, обнаруживаемые нами в мире. Прежде всего необходимо установить определенную меру, воспринимаемую нашими органами чувств, о которой мы имели бы точное представление, как например длину стопы, или фут.³ Как только мы примем эту длину за меру длины и она предстанет нашему взору, ее можно будет использовать при измерениях других расстояний и размеров, как самых больших, так и самых малых, путем определения в первом случае — числа футов, которые в этой длине содержатся, во втором случае — установив ту часть фута, которая этой длине соответствует. Ибо, ясно представляя себе фут, можно также представить себе его половину, четверть, двенадцатую часть, именуемую дюймом, и сотую, и даже тысячную часть — столь малую, что она почти недоступна нашему зрению.⁴ Тем не менее нужно принять во внимание, что существуют живые организмы столь же малых размеров. В их членах обращается кровь, и они, по-видимому, содержат еще и другие живые существа, которые — соотносительно с ними — столь же малы, как они сами по отношению к нам. Из этого следует, что самые малые размеры реально существуют в мире и они делимы еще на бесконечно меньшие доли. Так, например, хотя одна десятитысячная часть фута для нас неощутима, она превосходит размеры целого живого существа и должна была бы показаться этому существу весьма большой, если бы оно обладало в какой-то степени сознанием.

Теперь от этих малых величин, непостижимых для нашего ума, перейдем к большим величинам. В. В. знает, что такое миля.⁵ Отсюда до Магдебурга восемнадцать миль.⁶ Милю считают за 24 000 футов, и эту меру применяют для расстояний от одного места до другого на Земле. Это позволяет избежать слишком больших чисел, которые получились бы, если бы мы захотели воспользоваться футами.

Таким образом, поскольку известно, что миля содержит 24 000 футов, то если говорят, что Магдебург отстоит от Берлина на 13 миль, у нас создается

более ясное представление об этом расстоянии, чем если бы сказать, что оно равно 432 000 футов. Ибо столь огромное число может смутить наш разум.

Равным образом можно отчетливо вообразить себе размеры всей Земли, если известно, что ее окружность равна 5400 милям. Итак, поскольку Земля имеет форму шара, то диаметр этого шара равен 1720 милям, что дает нам о нем точное представление. Теперь этой величиной можно пользоваться для измерения самых больших расстояний, обнаруживаемых в небесном пространстве.

Из небесных тел ближе всего к нам Луна. Ее расстояние от Земли составляет около 30 земных диаметров,⁷ что соответствует 51 600 милям, или же 1 238 400 000 футов; но первая величина, т. е. 30 земных диаметров, нам более понятна.

Солнце отстоит от нас приблизительно в 300 раз дальше Луны. Выразив это расстояние через 9000 земных диаметров, мы получим о нем более ясное представление, чем если бы захотели выразить его в милях или тем более в футах.

Вашему Высочеству известно, что Земля обращается вокруг Солнца за год и что Солнце остается неподвижным.⁸ Однако помимо Земли имеется еще пять других тел, называемых планетами, которые обращаются подобным же образом вокруг Солнца, на расстояниях меньших, чем Земля, — как Меркурий и Венера, или больших — как Марс, Юпитер и Сатурн. Все другие светила, которые мы видим, за исключением комет, называются неподвижными, и они отстоят от нас несравненно дальше, чем Солнце. Расстояния, которые отделяют их от нас, без сомнения, чрезвычайно различны,⁹ и поэтому некоторые из них кажутся нам меньше других. Но ближайшая к нам звезда,¹⁰ очевидно, отстоит от Земли на расстояние, в 5000 раз превышающее расстояние от Солнца,¹¹ иными словами, превосходящее 45 000 000 земных диаметров. Выраженная в милях, эта величина была бы равна 77 400 000 000. Наконец, если умножить это число на 24 000, то получим это невероятное расстояние, выраженное в футах. Причем здесь речь идет только о ближайших к нам неподвижных звездах. Что касается самых далеких звезд, которые мы видим, то расстояния, отделяющие их от нас, будут еще в сто раз больше.

Тем не менее можно себе представить, что все эти звезды в совокупности составляют только крайне малую часть Вселенной, по отношению к которой эти необычайные расстояния оказываются не больше, чем песчинка в сравнении с земным шаром.

Весь этот необъятный мир является творением Всемогущего Создателя, который управляет как самыми большими, так и самыми малыми телами и определяет успехи нашего оружия,¹² в которых мы кровно заинтересованы.

Письмо 2

О скорости

Надеясь, что В. В. милостиво разрешит мне продолжить запятия, образец которых я осмелился представить в предыдущем письме, — я приступлю теперь к объяснению понятия скорости, величины особого рода, способной увеличиваться или уменьшаться.

Когда какое-либо тело переносится или перемещается с одного места на другое, ему приписывают определенную скорость. Предположим, что два гонца, один верховой, а другой пеший, отправляются из Берлина в Магдебург, причем и тот и другой обладают определенной скоростью, но скорость первого больше скорости второго. Итак, нужно определить различие между этими двумя скоростями. Речь идет не о длине пути, поскольку для обоих гонцов она одинакова. Различие, очевидно, во времени, которое требуется тому и другому, чтобы пройти один и тот же отрезок пути. Скорость верхового будет больше, так как он потратит меньше времени, чтобы преодолеть путь от Берлина до Магдебурга, тогда как скорость пешего, которому потребуется больше времени, чтобы пройти это расстояние, будет меньше. Отсюда делаем вывод: чтобы получить правильное представление о скорости, следует принять в расчет одновременно два рода величин, а именно пройденный путь и время, затраченное на прохождение этого пути.

Таким образом, тело, которое проходит за то же время вдвое большее расстояние, имеет вдвое большую скорость; если оно проделывает втрое больший путь, скорость его увеличивается в три раза, и т. д. Итак, мы можем определить скорость какого-либо тела, если знаем расстояние, пройденное этим телом в единицу времени.

Так, желая узнать, с какой скоростью я иду в Литцов,¹ я заметил, что делаю 120 шагов в минуту, причем один мой шаг равен двум с половиной футам. Значит, скорость моя такова, что я прохожу за одну минуту расстояние в 300 футов, а в течение часа — расстояние в 60 раз большее, т. е. 18 000 футов (это еще не миля, поскольку миля, равная 24 000 футов, была бы пройдена за один час 20 минут). Поэтому, если бы я захотел пройти путь от Берлина до Магдебурга, мне понадобилось бы ровно 24 часа. Таково точное представление о скорости, с которой я могу идти, и из этого примера легко понять, что такое большая скорость и меньшая.

Таким образом, если бы гонец преодолел расстояние от Берлина до Магдебурга за 12 часов, то его скорость вдвое превосходила бы мою, а если бы за 8 часов, то втрое.

Мы наблюдаем в мире очень большие различия в скоростях. Так, движение черепахи — это пример крайне малой скорости. Если она проходит в 1 минуту всего лишь 1 фут, то это значит, что ее скорость в 300 раз меньше моей, поскольку в этот же промежуток времени я прохожу 300 футов. Нам известны

также значительно ббльшие скорости. Скорость ветра очень непостоянна: для умеренного ветра она равна 10 футам в секунду, или 600 футам в минуту. Иными словами, ветер движется в два раза быстрее меня. Ветер, скорость которого достигает 20 футов в 1 секунду или 1200 футов в 1 минуту, считается довольно сильным, между тем как ветер со скоростью 50 футов в секунду будет весьма сильным, хотя его скорость только в 10 раз превышает мою и ему понадобится 2 часа 24 минуты, чтобы достичь Магдебурга. Далее следует скорость звука, равная 1000 футов в 1 секунду, т. е. 60 000 футов в 1 минуту. Следовательно, скорость звука в 200 раз больше моей.

Если выстрелить из пушки² в Магдебурге и если бы этот звук достиг Берлина, то он пришел бы туда только через 7 минут. Пушечное ядро летит почти с такой же скоростью; но если увеличить заряд, то полагают, что в этом случае ядро может преодолеть расстояние в 2000 футов за 1 секунду, или 120 000 за 1 минуту. Такая скорость кажется нам поразительной, хотя она только в 400 раз превышает скорость, с которой я иду в Литцов. И это также самая большая скорость, какую мы наблюдаем на Земле.

В небесном пространстве, однако, имеют место значительно большие скорости, хотя движения небесных тел кажутся нам медленными. Вашему Высочеству известно, что Земля завершает оборот вокруг своей оси за 24 часа. На экваторе скорость этого движения достигает 5 400 миль за 24 часа, тогда как я за это время смог бы пройти только 18 миль. Следовательно, эта скорость в 300 раз превышает мою и вместе с тем она меньше самой большой скорости пушечного ядра.

Земля обращается вокруг Солнца за год, и при такой скорости она проходит 128 250 миль за 24 часа. Отсюда следует, что эта скорость в 18 раз превышает скорость пушечного ядра.

Самая большая скорость, какая нам известна, это, без сомнения, скорость света,³ равная 2 000 000 миль в 1 минуту,⁴ т. е. превосходящая скорость пушечного ядра в 400 000 раз.

22 апреля 1760 г.

Письмо 3

О звуке и его скорости

Рассмотрение различных градаций скорости, которое я представил В. В., позволяет мне перейти к вопросу о звуке и о всяких вообще шумах. Отметим предварительно, что, прежде чем звук достигнет нашего уха, всегда проходит некоторое время, причем это время тем продолжительнее, чем дальше отстоит от нас источник звука. Таким образом, чтобы звук распространился на 1000 футов, ему потребуется 1 секунда.¹

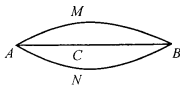
При выстреле из пушки те, кто находится в отдалении, услышат звук лишь спустя некоторое время² после того, как они увидят огонь. На расстоянии в одну милю, или 24 000 футов, звук выстрела слышен только через 24 секунды после вспышки огня.

По-видимому, В. В. уже приходилось часто замечать, что удар грома достигает нашего уха только через некоторое время после того, как мы увидели молнию. Это позволяет определить, на каком расстоянии от нас находится место, где ударил гром. Отметив, например, что между появлением молнии и ударом грома прошло 20 секунд, мы можем заключить, что место, где возникла гроза, отстоит от нас на расстоянии, превышающем 1000 футов в 20 раз, считая по 1000 футов на каждую секунду времени. Это замечательное свойство звука заставляет нас задать себе вопросы: что такое звук? можно ли уподобить природу звука природе запаха? распространяется ли звук, издаваемый звучащим телом, таким же образом, как запах от цветка, от которого исходят тончайшие испарения, способные возбудить наше обоняние?

Такое представление могло возникнуть в древности, но в настоящее время мы пришли к убеждению, что когда ударяют в колокол, то от него не отделяется ничего, что сможет достичь наших ушей. Иными словами, всякое звучащее тело не теряет при этом ничего из своей субстанции.

Достаточно посмотреть на колокол, в который ударяют, или же на струну, когда ее задевают щипком, и убеждаемся в том, что звучащее тело находится в состоянии колебания или сотрясения, которое передается всем его частям. Всякое тело, способное испытывать подобные колебания всех своих частей, может издавать звук.

В натянутой струне, если она не слишком тонка, можно ясно видеть эти колебательные движения,³ благодаря которым струна ACB переходит поочередно из положения AMB в ANB , которые я представил на рисунке более отчетливо, чем это имеет место в действительности.



Далее следует отметить, что эти вибрации вызывают подобное же колебательное движение в окружающем воздухе. Оно распространяется затем в более отдаленных слоях воздуха, пока не достигнет органа слуха. Таким образом, именно воздух, получая подобные колебания, доносит звук до наших ушей. Отсюда явствует, что ощущение звука есть не что иное, как воздействие на наш орган слуха колебания, передаваемого по воздуху. И когда мы слышим звук струны, которую задели щипком, то наше ухо воспринимает число ударов, соответствующих числу колебаний струны за то же время. Таким образом, если струна производит 100 колебаний в 1 секунду, наше ухо получает также 100 ударов в секунду, и восприятие этих ударов и есть то, что мы называем звуком.

Если эти удары следуют друг за другом равномерно, т. е. если промежутки между ними одинаковы, то звук будет правильным, как это и требуется в музыке.⁴ Но если эти удары следуют друг за другом беспорядочно, т. е. через

неравные промежутки времени, то возникает нестройный шум, совершенно несвойственный музыке.

При более тщательном рассмотрении музыкальных звуков, колебания которых совершаются равномерно, обнаруживаем прежде всего, что большая или меньшая сила колебательных движений и соответственно ударов, воспринимаемых ухом, не вызывает изменений в самом звуке, если не считать того, что он становится тише или громче. Это различие в громкости музыканты обозначают словами *forte* и *piano*. Более существенное различие наблюдается, однако, если колебания следуют друг за другом чаще или реже, т. е. если за секунду их проходит больше или меньше. Так, если одна струна совершает 100 колебаний в секунду, а другая — 200 за то же время, то издаваемые ими звуки будут весьма различны: первый будет более низким, или глубоким, а второй — более высоким, или тонким. В этом и заключается подлинное различие между высокими и низкими тонами, на котором и зиждется вся музыка. Музыка учит нас сочетать звуки, различающиеся по высоте, но подобранные так, что достигается приятная для слуха гармония.

Итак, низкие звуки создаются более редкими колебаниями, чем высокие. Каждому звуку, издаваемому клавесином, соответствует определенное число колебаний в секунду. Так, звук, обозначаемый знаком C ,⁵ дает приблизительно 100 колебаний в секунду, а звук, обозначаемый знаком $\bar{c}$, — 1600 колебаний в секунду. Следовательно, струна, которая совершает 100 колебаний в секунду, издает звук C , тогда как при 50 колебаниях звук будет еще ниже.

Что же касается нашего органа слуха, то существует предел, за которым звуки не ощущаются. По всей видимости, мы не способны воспринять звук,⁶ который производит менее 20 колебаний в секунду, так как он будет чрезмерно низкий, а также звук с частотой колебаний более 4000 вследствие его чрезвычайной высоты.

26 апреля 1760 г.

Письмо 4

О консонансах и диссонансах

В. В. прервали нить моих рассуждений весьма любезным образом.

Итак, с чувством глубокой благодарности возвращаюсь к моей теме. Я отметил, что наше ухо, услышав простой музыкальный звук, воспринимает некое число ударов, отделенных друг от друга равными промежутками. Частота, или число ударов в определенный отрезок времени, обуславливает различие между высокими и низкими тонами. Иными словами, чем меньше число колебаний, совершаемых в некую единицу времени, например в секунду, тем звук ниже, и, напротив, чем оно больше, тем звук выше. Следовательно, ощущение про-

стого музыкального звука можно уподобить ряду точек, отстоящих друг от друга на равном расстоянии.

.....

В зависимости от того, будут ли интервалы между этими точками большими или меньшими, представляемый ими звук будет ниже или выше. Несомненно также, что ощущение простого звука подобно или аналогично зрительному восприятию такого ряда точек, одинаково удаленных друг от друга.

Таким способом можно наглядно представить то, что ощущает наше ухо, когда оно слышит какой-либо звук. Если бы расстояния между точками были неравными и точки располагались беспорядочно, то это было бы изображением нестройного шума, противоположного гармонии.

Установив этот факт, посмотрим, какое воздействие на ухо должны произвести два звука, издаваемые одновременно. Очевидно, что если эти два звука одинаковы, т. е. содержат одно и то же число колебаний за одно и то же время, то они будут восприняты нашим ухом как один звук. В музыке принято считать, что такие два звука звучат в унисон, т. е. образуют самое простое созвучие,¹ поскольку созвучием называется слияние двух или нескольких звуков, слышимых одновременно.

Если два звука не одинаковы по высоте, т. е. имеют различную частоту, то происходит слияние двух рядов ударов. При этом в каждом ряду интервалы будут одинаковыми, но в одном ряду они длиннее, чем в другом, что соответствует в первом ряду более низкому звуку, а во втором — более высокому.

Подобное слияние или созвучие двух звуков может быть представлено двумя рядами точек, расположенных по двум линиям *ab* и *cd*:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>a</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<i>b</i>
<i>c</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<i>d</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Чтобы получить точное представление об этих двух рядах, следует обратить внимание на соблюдаемый в них порядок, т. е. на соотношение интервалов в первой и второй строке. Если пронумеровать точки обеих линий и поставить номер 1 под номером 1, то окажется, что вторые номера не будут находиться точно один под другим, и еще менее того третьи номера. Вместе с тем мы видим, что в верхней строке номер 11 находится точно над номером 12 нижней строки. Отсюда следует, что более высокий звук совершает 12 колебаний, а другой — только 11. Если бы не было цифровых обозначений, наш глаз почти не уловил бы этого различия. Равным образом и наше ухо с трудом различило бы соотношение звуков, изображенных мною в виде двух рядов точек.

Однако на следующем рисунке

.....

с первого взгляда можно заметить, что верхняя строка содержит в два раза

больше точек, чем нижняя, т. е. промежутки между точками в нижней строке в два раза больше, чем в верхней. Это, без сомнения, самый простой случай, если не считать унисона, где можно легко обнаружить порядок в расположении точек той и другой строки. То же самое относится и к двум другим звукам, графически представленным этими двумя рядами точек. Один из этих звуков будет производить в два раза больше колебаний, чем другой. Наше ухо с легкостью воспримет это совершенное соотношение двух звуков, тогда как в предыдущем случае суждение крайне затруднительно, если не невозможно.

Когда наше ухо легко распознает соотношение двух звуков, их слияние называется *консонансом*, если же такое соотношение трудно и даже невозможно обнаружить, аккорд называется *диссонансом*.²

Итак, самым простым консонансом будет тот, в котором высокий звук производит в два раза больше колебаний, чем низкий. Такой консонанс называется в музыке *октавой*, значение которой всем хорошо известно. Два звука, которые отличаются друг от друга на одну октаву, настолько сходны между собой и так хорошо гармонируют, что музыканты обозначают их одними и теми же буквами. Мы можем, например, в церкви заметить, что женщины поют октавой выше, чем мужчины, и при этом им кажется, что они издают одни и те же звуки. В. В. сможет легко в этом убедиться, играя на клавишине; ее приятно поразит красота аккорда, в который входят звуки, различающиеся друг от друга одной октавой, тогда как сочетание любых других двух звуков не будет столь благозвучным.

29 апреля 1760 г.

Письмо 5

Об унисоне и октавах

В. В., по-видимому, уже замечали, что созвучие, называемое у музыкантов октавой, воздействует на наш слух столь особенным образом, что можно легко обнаружить малейшее его искажение. Например, если взять ноту, обозначенную F, то без труда, просто на слух, можно подстроить к ней ноту f на октаву выше. Если струна, издающая звук f, звучит слишком высоко или слишком низко, то это сразу же неприятно поразит слух, но нет ничего легче, как произвести соответствующую подстройку. Именно поэтому при пении все легко переходят от одного звука к другому, выше или ниже на октаву. Однако когда нужно перейти от звука F к звуку d, то посредственный певец может легко ошибиться, если только ему не придет на помощь инструмент. Взяв за точку отсчета звук F, почти невозможно сразу подстроить к нему звук d. В чем же причина этого явления? Почему так легко можно подстроить к звуку F звук f и так нелегко — звук d? Это явление нетрудно объяснить, исходя из соображений, которые я имел честь представить В. В. в последних заметках. Нужно принять во внима-

ние, что звук F и звук f образуют октаву, т. е. число колебаний, содержащихся в звуке f , как раз вдвое превышает число колебаний звука F . Чтобы заметить это созвучие, необходимо только почувствовать пропорцию ¹ один к двум ($1 : 2$), которая, подобно тому как она бросается в глаза на рисунке с изображением точек, приведенном мною выше, воздействует и на наш слух. В. В. может легко понять, что чем проще эта пропорция, чем меньше выражающие ее числа, тем легче она воспринимается, вызывая при этом у нас чувство удовольствия.

Зодчие также строго следуют этому правилу, стараясь соблюдать во всех частях здания настолько простые пропорции, насколько это позволяют другие обстоятельства. Двери и окна обычно делают так, чтобы их высота была вдвое больше ширины. Повсюду зодчие стремятся сохранять пропорции, выражаемые малыми числами, так как это производит приятное впечатление. То же самое мы наблюдаем и в музыке: созвучия нравятся нам, только если наш ум постигает определенную пропорцию, существующую между звуками, причем эту пропорцию мы воспринимаем тем легче, чем меньше выражающие ее числа.²

Итак, после соотношения $1 : 1$, присущего двум равным звукам, издаваемым в унисон, самой простой является, без сомнения, пропорция $1 : 2$, и именно она дает нам созвучие октавы. Отсюда явствует, что это созвучие обладает многими преимуществами по сравнению с другими консонансами.

Уяснив себе, что представляет собой созвучие, или интервал, между двумя звуками, называемый музыкантами октавой, рассмотрим несколько звуков, как-то: $F, f, \bar{f}, \bar{\bar{f}}$, из которых каждый выше предыдущего на одну октаву. Поскольку интервал от F до f , от f до $\bar{f}$, от $\bar{f}$ до $\bar{\bar{f}}$ и от $\bar{\bar{f}}$ до $\bar{\bar{\bar{f}}}$ является октавой, то интервал от F до $\bar{f}$ будет двойной октавой, от F до $\bar{\bar{f}}$ — тройной октавой и от F до $\bar{\bar{\bar{f}}}$ — четверной октавой. Итак, за то время, как звук F производит одно колебание, звук f производит два, звук $\bar{f}$ — четыре, звук $\bar{\bar{f}}$ — восемь и звук $\bar{\bar{\bar{f}}}$ — шестнадцать колебаний. Отсюда явствует, что если октава соответствует пропорции $1 : 2$, то двойная октава соответствует $1 : 4$, тройная — $1 : 8$ и четверная — $1 : 16$. Так как пропорция $1 : 4$ не так проста, как $1 : 2$, и не так бросается в глаза, то двойную октаву всегда труднее различить, чем простую. Тройная октава представляется еще более сложной для восприятия, а четверная — еще гораздо сложнее.

Таким образом, при настройке клавесина, если принять за точку отсчета ноту F , то значительно труднее подстроить к ней двойную октаву $\bar{f}$, чем простую октаву f . Настройка тройной октавы $\bar{\bar{f}}$ и четверной $\bar{\bar{\bar{f}}}$ будет еще сложнее, если только не идти вверх через промежуточные октавы.

Эти созвучия также входят в понятие консонанса. Поскольку простейшим из них является унисон, то можно их расположить по следующим степеням:³

- I степень: унисон, выражаемый пропорцией $1 : 1$
- II степень: чистая, простая октава, выражаемая пропорцией $1 : 2$
- III степень: двойная октава, выражаемая пропорцией $1 : 4$
- IV степень: тройная октава, выражаемая пропорцией $1 : 8$
- V степень: четверная октава, выражаемая пропорцией $1 : 16$
- VI степень: пятерная октава, выражаемая пропорцией $1 : 32$.

И так, до предела слышимости звука.

Таковы те созвучия или консонансы, к пониманию которых мы пришли, исходя из данного рассуждения. Однако мы еще ничего не знаем о возможностях другого рода и еще менее о диссонансах, которыми пользуются в музыке. Но прежде чем перейти к объяснению этих последних, я считаю нужным пояснить термин «октава». Октавой обозначают интервал между двумя звуками, из которых один дает вдвое больше колебаний, чем другой. Причина, почему было принято это название, станет ясной, если В. В. посмотрит на основные клавиши клавесина. Они поднимаются на семь ступеней до того, как достигнут октавы, а именно: С, D, E, F, G, A, H, с. Таким образом, клавиша с будет восьмой, если считать С — первой. Но это деление зависит от особого свойства музыки, о котором пойдет речь в следующих письмах.

3 мая 1760 г.

Письмо 6

О других созвучиях

Можно утверждать, что все рассмотренные нами пропорции, как-то: $1 : 2$, $1 : 4$, $1 : 8$, $1 : 16$, в которых состоит сущность октавы простой, двойной, тройной или четверной, ведут свое начало от одного только числа 2, поскольку 4 — это дважды два, 8 — дважды четыре, а 16 — дважды восемь.¹ Таким образом, придерживаясь в музыке только числа *два*, можно прийти лишь к пониманию созвучий или консонансов, которые музыканты называют октавой, простой, или двойной, или тройной. И поскольку число два при удвоении может дать только числа 4, 8, 16, 32, 64, причем каждое из них всегда вдвое больше предыдущего, то все остальные числа остаются нам пока неизвестными. Если бы у музыкального инструмента были только октавы, т. е. звуки, обозначенные С, с, $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, а все другие звуки исключены, то издаваемая им музыка не могла бы быть приятной из-за своей чрезмерной простоты. Введем же помимо числа 2 еще число 3 и посмотрим, какие при этом возникнут аккорды или консонансы. Начнем с того, что пропорция $1 : 3$ дает нам два звука, из которых один производит за то же самое время в три раза больше колебаний, чем другой. Такая пропорция после пропорции $1 : 2$, без сомнения, наиболее доступна для понимания, и, следовательно, она может дать прекрасные созвучия, но совершенно иного рода, чем созвучие октавы.

Предположим, что в пропорции $1 : 3$ число 1 соответствует звуку С; поскольку звук с выражается числом $\bar{2}$, число 3 дает нам звук более высокий, чем с. Однако более низкий, чем звук $\bar{c}$, соответствующий числу 4. Звук же, выраженный числом 3, обозначается музыкантами буквой g; интервал от с до g они называют *квинтой*, поскольку на клавиатуре клавесина клавиша g будет пятой от с, как-то: с, d, e, f, g. Итак, если число 1 дает звук С, то число 2 дает с, число

3 — g, число 4 — звук $\bar{c}$. И поскольку звук $\bar{g}$ является октавой g, ее число будет 3, умноженное на 2, и, следовательно, равно 6; а если подняться еще на октаву, число, соответствующее звуку $\bar{g}$, будет в два раза больше, т. е. равно 12.

Итак, все звуки, к которым нас приводят числа 2 и 3, притом что звук C обозначен цифрой 1, будут:

C	c	g	$\bar{c}$	$\bar{g}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{c}}}$
1	2	3	4	6	8	12	16.

Отсюда явствует, что пропорция 1 : 3 выражает интервал, состоящий из октавы и квинты, а этот интервал ввиду простоты составляющих его чисел будет после октавы наиболее легко различимым для слуха. Поэтому-то музыканты отводят квинте второе место среди консонансов; квинта производит на слух столь приятное впечатление, что настройка ее не представит никакого труда. Так, например, у скрипок четыре струны поднимаются вверх по квинтам, причем самая низкая будет G, вторая — d, третья — a и четвертая — e; и любой музыкант может легко их настроить просто на слух.

Тем не менее квинта не настраивается так легко, как октава; но квинта, лежащая выше октавы, как-то от C к g, выраженная пропорцией 1 : 3, заметнее для слуха, чем простая квинта от C до G или от c до g, выраженная пропорцией 2 : 3. Известно также из практики, что если взять за точку отсчета звук C, то легче подобрать к нему высшую квинту g, чем простую, G.

Если обозначить единицей звук F, то число 3 обозначит звук c, так что F, f, $\bar{c}$, $\bar{f}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{f}}$ будут изображены числами 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, где интервал от f до $\bar{c}$ является квинтой, образуемой пропорцией 2 : 3; от f до $\bar{\bar{c}}$, от $\bar{f}$ до $\bar{\bar{c}}$ мы также имеем квинту, поскольку пропорция 4 : 6 и 8 : 12 подобна пропорции 2 : 3. Ибо если два локтя ткани² стоят 3 эку, то 4 локтя будут стоить 6, а 8 локтей — 12 эку.

Это рассуждение приводит нас к пониманию другого интервала, содержащегося в пропорции 3 : 4, иными словами, интервал от $\bar{c}$ до $\bar{f}$ и, следовательно, также от c до f или от C до F, который музыканты называют *квартой*. Поскольку последняя выражается большими числами, она далеко не столь приятна для слуха, как квинта и тем более октава.

Так как число 3 дало нам эти новые созвучия, или консонансы, квинту и кварту, то прежде чем перейти к другим числам, умножим число 3 на три, чтобы получить 9; это дает нам звук более высокий, чем звук 3 или $\bar{c}$ октавы и квинты, где $\bar{\bar{c}}$ — это октава $\bar{c}$, а $\bar{\bar{g}}$ — квинта $\bar{c}$. Итак, число 9 дает звук g; $\bar{\bar{c}}$, $\bar{f}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$ будут обозначены числами 6, 8, 9, 12.³ Если взять эти звуки в нижних октавах, то при сохранении тех же пропорций получим

C	F	G	c	f	g	$\bar{c}$	$\bar{f}$	$\bar{g}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{f}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{c}}}$
6	8	9	12	16	18	24	32	36	48	64	72	96,

что приводит нас к познанию новых интервалов. Первый из них будет интервал от F до G, содержащийся в пропорции 8 : 9, который музыканты называют

секундой, а также *целым тоном*. Второй — это интервал от G до f, содержащийся в пропорции 9:16 и называемый *септимой*. Он будет на одну секунду, или на целый тон, меньше октавы. Поскольку эти пропорции выражены здесь сравнительно большими числами, соответствующие им интервалы не относятся к числу консонансов. Музыканты называют их *диссонансами*.

Если мы еще утроим число 9, чтобы получить 27, то это число будет обозначать тон более высокий, чем $\bar{c}$, а именно на одну квинту превосходящий g. Следовательно, это будет тон $\bar{d}$ и его октава $\bar{\bar{d}}$ будет соответствовать числу 27, умноженному на два, т. е. 54, а двойная октава $\bar{\bar{\bar{d}}}$ — числу 54, умноженному на два, т. е. 108.

Изобразим эти тоны, которые будут ниже на несколько октав, следующим образом:

C	D	F	G	c	d	f	g	$\bar{c}$	$\bar{d}$	$\bar{f}$	$\bar{g}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{f}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{c}}}$
24	27	32	36	48	54	64	72	96	108	128	144	192	216	256	288	384.

Из этого видно, что интервал от D до F содержится в пропорции 27 к 32, а интервал от F до d — в пропорции 32 к 54. Возьмем половину ряда от 16 к 27, где первый интервал называется *минорной терцией*, а второй — *мажорной секстой*.

Можно было бы еще утроить число 27, но музыка не заходит так далеко, и мы ограничиваемся числом 27, происходящим от 3 и умноженным в третий раз на самого себя.

Что касается других тонов музыки,⁴ которых нам еще недостает, то они вводятся числом 5. О них пойдет речь в следующем письме.

3 мая 1760 г.

Письмо 7

О двенадцати тонах клавесина

Предмет, с которым я осмеливаюсь познакомить В. В., представляет собой столь сухую материю, что я не без основания опасаясь наскучить В. В. своими объяснениями. Не желая отнимать у Вас много времени, я посылаю сегодня одновременно три письма, чтобы тем самым разом покончить со столь непривлекательной темой.

Я намереваюсь познакомить В. В. с истинной природой музыкальных звуков, о которой музыканты не имеют почти никакого представления. Ибо не теория привела их к познанию всех тонов. Этим они скорее обязаны скрытой силе подлинной гармонии, которая столь действенно повлияла на орган слуха, что как бы вынудила его воспринимать тона, используемые ныне в музыке, хотя точное определение этих тонов еще недостаточно известно музыкантам.

Итак, принципы *гармонии* сводятся к числам, как я уже имел честь показать В. В. Я отметил, что число 2 дает только октавы, так что если взять, например, за основу тон F, то это приведет нас к звукам f, $\bar{f}$, $\bar{\bar{f}}$. Далее, число 3 дает тона C, c, $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$, которые отличаются от вышеуказанных на одну квинту. Повторение того же самого числа 3 дает еще квинты первых звуков, а именно G, g, $\bar{g}$, $\bar{\bar{g}}$. И наконец, третье повторение этого числа 3 добавляет еще тоны D, d, $\bar{d}$, $\bar{\bar{d}}$. Поскольку принципы гармонии неотделимы от простоты, дальнейшее повторение числа 3 недопустимо. Поэтому мы имеем до сих пор только следующие тоны для каждой октавы:

F	G	c	d	f
16	18	24	27	32.

Эти тоны, несомненно, не допускают большого разнообразия в музыке. Но попробуем ввести также число 5 и посмотрим, каким будет тон, который производит пять колебаний, между тем как тон F дает за то же время только одно. Тон f производит в ту же единицу времени 2 колебания, тон $\bar{f}$ — четыре, а тон $\bar{\bar{c}}$ — шесть.

Следовательно, рассматриваемый нами тон будет находиться между $\bar{f}$ и $\bar{\bar{c}}$. Музыканты обозначают его буквой $\bar{a}$. В сочетании с тоном f он образует так называемую *мажорную терцию* и дает вполне приятное созвучие, поскольку содержится в пропорции сравнительно малых чисел 4 : 5. Кроме того, этот тон $\bar{a}$ с тоном $\bar{c}$ образует аккорд, содержащийся в пропорции 5 : 6. Он почти столь же благозвучен, как и первый, и называется *минорной терцией*, подобно той, о которой мы уже говорили, расположенной между числами 27 и 32. Различие между ними почти не ощутимо для уха. Если то же самое число 5 приложить к другим тонам G, c, d, то это нам даст их мажорные терции, взятые во второй верхней октаве, т. е. звуки $\bar{\bar{h}}$, $\bar{\bar{e}}$ и $\bar{\bar{f}}$ [i] s. Перенесенные в первую октаву, они дадут нам нижеследующие тоны с соответствующими числовыми обозначениями:

F	F[i]s	G	A	H	c	d	e	f
128	135	144	160	180	192	216	240	256.

Исключим тоны F[i]s, и звуковой ряд будет соответствовать основным клавишам клавесина, которые, согласно древним, составляют род,¹ называемый *диатоникой*, происходящей от числа 2, от числа 3, повторенного три раза, и от числа 5. Применяя только эти тоны, можно получить прекрасные и разнообразные мелодии, обязанные своим благозвучием исключительно простоте чисел, дающих нам эти тоны.

Наконец, если использовать вторично число 5, то оно даст нам терции четырех новых тонов A, E, H, F[i]s, которые мы только что установили, и, следовательно, мы получили звуки C[i]s, G[i]s, D[i]s и B. Теперь октава имеет 12 тонов, точно соответствующих принятым в музыке. Все эти тоны происходят

от трех чисел — 2, 3 и 5, причем число 2 удваивается столько раз, сколько этого требуют октавы. Что же касается числа 3, то его повторяют только 3 раза, а число 5 — только два.

Ниже следует таблица, где даны все тоны первой октавы, выраженные числами, и где видно, каким образом складывается каждое из чисел 2, 3 и 5.

Различие		
C	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \dots\dots\dots$	384
C[i]s	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 5 \dots\dots\dots$	400
D	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \dots\dots\dots$	432
D[i]s	$2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \dots\dots\dots$	450
E	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \dots\dots\dots$	480
F	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \dots\dots$	512
F[i]s	$2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \dots\dots\dots$	540
G	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5 \dots\dots\dots$	576
G[i]s	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5 \dots\dots\dots$	600
A	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5 \dots\dots\dots$	640
D	$3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5 \dots\dots\dots$	675
H	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \dots\dots\dots$	720
c	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \dots\dots\dots$	768

В то время как звук C дает 384 колебания, звук G[i]s дает 400 за то же время, а другие звуки столько колебаний, сколько указывают соответствующие им числа; таким образом, звук c произведет в ту же единицу времени 768 колебаний, что ровно вдвое превышает число 384.

Для последующих октав следует только умножить эти числа на 2, на 4 или на 8. Таким образом, звук $\bar{c}$ даст 768×2 , т. е. 1536 колебаний, звук $\bar{\bar{c}}$ — 1536×2 , т. е. 3072 колебания, и звук $\bar{\bar{\bar{c}}}$ — 3072×2 , т. е. 6144 колебания. Чтобы понять образование звуков от этих трех чисел — 2, 3 и 5, нужно принять во внимание, что точки, поставленные между числами, означают умножение. Таким образом, для тона F[i]s выражение $2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 5$ означает, что 2 надо умножить на 2, потом на 3, опять на 3, еще на 3 и, наконец, на 5. Итак, $2 \times 2 = 4$, $4 \times 3 = 12$, $12 \times 3 = 36$, $36 \times 3 = 108$, $108 \times 5 = 540$. Отсюда явствует, что различия между этими тонами неодинаковы: одни из них больше, другие — меньше. Именно этого требует истинная гармония. Но поскольку неравенство не очень значительно, то обычно все эти различия считают равными и переход от каждого тона к последующему называют *полутоном*. Ибо полагают, что октава делится, таким образом, на 12 *полутонов*. Многие музыканты делают их теперь даже равными, хотя это и противоречит принципам гармонии: в

этом случае ни одна квинта, ни одна терция не будет правильной и впечатление будет такое, как если бы эти тоны не были надлежащим образом подобраны.

Музыканты согласны также с тем, что следует пожертвовать правильностью этих созвучий, чтобы получить преимущество равенства всех полутонов и так, чтобы транспозиция из одной тональности в какую-либо другую ничего не изменила в мелодиях. Однако они сами признают, что одно и то же музыкальное произведение, сыгранное в тональности С или же полутоном выше G[i]s, существенно изменит свой характер. Отсюда явствует, что все полутона в действительности не могут быть равными, и, хотя музыканты стремятся сделать их такими, истинная гармония противится осуществлению этого замысла, чуждого ее природе.²

Таково истинное происхождение тонов, используемых в настоящее время в музыке: они получены из чисел 2, 3 и 5. Если бы захотели ввести еще число 7, то число тонов октавы соответственно увеличилось бы и вся музыка достигла бы более высокой степени совершенства.³ Но здесь математика отступает от гармонии и предоставляет ее самой музыке.

3 мая 1760 г.

Письмо 8

Об удовольствии, доставляемом хорошей музыкой

Почему прекрасная музыка вызывает у нас чувство удовольствия? Этот вопрос столь же существен, сколь и любопытен. Ученые придерживаются на этот счет самых различных мнений. Некоторые полагают, что это просто причуда природы и что удовольствие, доставляемое музыкой, не имеет под собой никакого разумного основания, поскольку одна и та же музыка может нравиться одним и оставлять равнодушными других.

Подобное рассуждение не только не решает вопроса, но еще больше его осложняет. Поскольку надо согласиться, что ничто не происходит без причины, то возникает желание узнать, почему одно и то же музыкальное произведение способно производить столь различное впечатление.

Другие утверждают, что удовольствие, доставляемое музыкой, сводится к восприятию порядка, который в ней господствует.¹ Это мнение представляется на первый взгляд обоснованным и заслуживает более тщательного рассмотрения.

Музыка содержит в себе два элемента, которым присущ определенный порядок. Один из них относится к различию тонов, которые могут быть высокими или низкими, тонкими или глубокими. Напомню В. В., что это различие зависит от числа колебаний, производимых каждым тоном за одно и то же время. Различие в частоте колебаний всех тонов и является тем, что мы на-

зываем собственно гармонией. Следовательно, если, слушая музыку, мы распознаем отношения или пропорции, существующие между частотами всех тонов, то возникает ощущение гармонии.

Так, два тона, различающиеся на одну октаву, позволяют воспринять пропорцию $1 : 2$, квинта — пропорцию $2 : 3$, а мажорная терция — $4 : 5$. Порядок, содержащийся в той или иной гармонии, становится понятным, если известны все пропорции между тонами, составляющими эту гармонию, и такое понимание дарует нам наш орган слуха. Поскольку слуховое восприятие может быть более или менее тонким, то и представляется ясной причина, по которой одна и та же гармония доступна пониманию одного человека и совершенно не воспринимается другим, в особенности если соотношения между тонами выражены сколько-нибудь большими числами. Однако музыка содержит, помимо гармонии, еще и другой элемент, подчиняющийся порядку, а именно — метр,² посредством которого каждому тону придается определенная длительность. Восприятие метра сводится к пониманию длительности всех тонов и пропорций, которые при этом возникают, как если бы один тон звучал в два, три или четыре раза дольше другого.

Барабаны и литавры могут служить примером музыки, в которой есть только метр, поскольку все тоны там одинаковы и нет никакой гармонии. Наряду с этим имеется музыка, обладающая только гармонией, и метр в ней отсутствует. Это — хорал, в котором всем тонам присуща одинаковая длительность. Совершенная музыка должна обладать и гармонией, и тактом.

Итак, тот, кто, слушая музыку, понимает, полагаясь на свой слух, все соотношения, на которых основываются как гармония, так и метр, имеет, без сомнения, наиболее полное представление об этой музыке. Напротив, тот, кто воспринимает только частично эти пропорции или же совсем их не замечает, либо совершенно не разбирается в музыке, либо недостаточно хорошо ее понимает.

Однако то удовольствие, о котором идет речь, отнюдь не сводится к такому пониманию, хотя можно смело утверждать, что музыка доставляет истинное удовольствие, только если ее хорошо понимают. Вместе с тем одного понимания всех пропорций, соблюдаемых как в гармонии, так и в ритме, еще недостаточно, чтобы вызвать чувство удовольствия. Необходимо что-то еще — то, что до сих пор еще никто не сумел объяснить.

Чтобы убедиться в том, что одного понимания всех пропорций в музыке недостаточно, обратимся к очень простой музыке, содержащей только октавы, где пропорции чрезвычайно легко воспринимаются. Однако далеко не всегда такая музыка может доставить удовольствие, хотя она вполне понятна. Значит, можно сказать, что для получения удовольствия необходимо понимание, требующее некоторого усилия. Но, по моему мнению, и этого еще недостаточно. Так, диссонанс, пропорции которого состоят из больших чисел, воспринимается с трудом, однако ряд диссонансов, расположенных в беспорядке и без определенного плана, редко кому может понравиться. Следовательно, нужно,

чтобы композитор, сочиняющий музыку, следовал определенному плану и осуществлял его посредством реальных и легко воспринимаемых пропорций. Тогда истинный знаток, слушая это музыкальное произведение и постигая в то же время план и замысел композитора, будет испытывать особое удовлетворение, которое и есть удовольствие, доставляемое прекрасной музыкой уху знатока. Это удовольствие, следовательно, обусловлено тем, что мы, так сказать, угадываем замыслы и чувства композитора, которые при условии их удачного воплощения доставляют уму истинное наслаждение.

Почти такое же удовлетворение испытывают, когда смотрят хорошую пантомиму, где по жестам и движениям можно угадать воспроизводимые ими чувства и диалоги и где все действие служит для воплощения совершенного замысла.

Загадка с трубочистом, которая так понравилась В. В., также может служить мне прекрасным примером.*³ Как только разгадан смысл и обнаруживается, что он превосходно изложен в послышке загадки, испытываешь большое удовольствие. Напротив, загадки плоские и плохо составленные не могут доставить никакого удовольствия.

Таковы, по моему мнению, истинные принципы, на которых основываются все наши суждения о достоинствах музыкальных произведений.⁴ Но это мнение человека, который ничего не смыслит в музыке и поэтому должен стыдиться, что осмелился занять В. В. рассуждением на эту тему.

6 мая 1760 г.

Письмо 9

О сжатии воздуха

Объяснение природы звука, которое я имел честь представить В. В., приводит меня к необходимости рассмотреть более подробно свойства воздуха, способного испытывать такие же колебательные движения, как и звучащие тела: струны, колокола и т. п., и передавать эти колебания нашим ушам. Возникает вопрос, что же представляет собой воздух? На первый взгляд трудно заметить, что воздух материален. Нам кажется, что окружающее нас пространство, если мы не видим в нем никаких осязаемых предметов, не содержит никакой материи, потому что мы ничего не ощущаем и можем ходить и делать резкие движения, не встречая при этом ни малейшего препятствия. Однако достаточно быстро двинуть рукой, чтобы почувствовать некое сопротивление

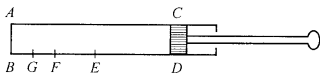
* Вот текст этой загадки, автором которой является Удар де Ламотт (1672—1731):

«Я видел, Вы можете мне поверить, как дитя с победоносным оружием в руках, с повязкой на глазах пыталось завоевать сердце, столь же бесчувственное, сколь и прельстительное.

И вскоре после этого, с высоко поднятым челом, это дитя, гордясь своей победой, торжествующим голосом славilo свой подвиг и, казалось, хотело призвать в свидетели весь мир. Кто же это дитя, смелостью которого я восхищался? Это не был Амур. Вас это ставит в тупик».

воздуха и даже что-то вроде порыва ветра, вызванного столь резким движением. Действительно, ветер есть не что иное, как воздух, приведенный в движение, и поскольку ветер способен оказывать столь поразительное действие, кто может усомниться в том, что воздух является материей, а, следовательно, также и телом? Ибо материя и тело означают одно и то же.

Различают два рода тел — твердые и текучие. Очевидно, воздух должен быть отнесен к разряду текучих тел. Он обладает многими свойствами, общими с водой, но более тонкий, менее плотный. Из опытов можно заключить, что плотность воздуха приблизительно в 800 раз меньше плотности воды. Иными словами, если бы воздух стал в 800 раз гуще, чем это имеет место в действительности, то он имел бы такую же консистенцию, как и вода. Основным свойством воздуха, отличающим его от других жидких тел, является его способность сжиматься или сокращаться в объеме, если уменьшить пространство, в котором он содержится. Это можно доказать посредством следующего опыта.



Берется металлическая или стеклянная трубка $ABCD$, плотно заделанная с одного конца AB , а с другого — открытая. В отверстие вводится поршень, заполняющий целиком весь просвет трубки. Проталкивают поршень внутрь. Когда он дойдет до середины E , то воздух, который прежде заполнял пространство $ABCD$, уменьшится в объеме наполовину, и, следовательно, плотность его увеличится вдвое. Если продвинуть поршень еще дальше, до F — середины расстояния между B и E , то пространство, занимаемое воздухом, станет меньше в четыре раза. При дальнейшем продвижении поршня до G , так, чтобы BG составило половину BF или восьмую часть всей длины BD ; воздух, который вначале заполнял всю полость трубки, теперь займет в 8 раз меньшее пространство. Если продолжать сжимать его таким образом до тех пор, пока он не займет пространство в 800 раз меньшее, то плотность его превысит в 800 раз плотность обыкновенного воздуха. Он стал бы в этом случае таким же плотным, как вода, что можно доказать другими опытами.

Отсюда делаем вывод, что воздух представляет собой жидкую материю, которая может быть приведена в сжатое состояние, иными словами, уменьшаться в объеме при уменьшении занимаемого ею пространства. Именно в этом и состоит коренное отличие воздуха от воды. Ибо если наполнить трубку $ABCD$ водой и ввести туда поршень, то продвинуть его далее было бы невозможно. Нам это не удастся, какое бы усилие мы не применили. И мы скорее ломаем трубку, чем хоть сколько-нибудь уменьшим пространство, занимаемое водой.

В этом и заключается основное различие между воздухом и водой:¹ вода не поддается никакому сжатию, между тем как воздух можно сжимать до любого предела.²

Итак, чем больше сжимают воздух, тем он становится плотнее или гуще. Таким образом, если воздух, занимавший определенный объем, будет сжат в пространстве вдвое меньшим, то он станет вдвое плотнее; если же пространство уменьшить в 10 раз, плотность его увеличится в 10 раз, и так далее.

Как я уже отмечал выше, если плотность воздуха возрастает в 800 раз, он будет таким же плотным, как вода, и таким же тяжелым, так как вес тела возрастает в той же пропорции, что и плотность.³ Из всех тел, которые нам известны, самым тяжелым является золото. Следовательно, золото обладает и наибольшей плотностью. Было установлено, что золото в 19 раз тяжелее воды и что кусок золота, имеющий форму куба, длина, ширина и высота которого равны 1 футу, будет весить в 19 раз больше, чем вода соответствующего объема. Если кубический фут воды весит 70 фунтов, то кусок золота такой же величины будет весить в 19 раз больше, т. е. 1330 фунтов.

Если бы можно было сжать воздух так, чтобы он занял пространство 19×800 , т. е. в 15 200 раз меньше обычного, то он стал бы таким же плотным и тяжелым, как золото. Однако такое сжатие воздуха намного превышает наши возможности. Поначалу можно без труда продвинуть поршень внутрь трубки, но чем дальше, тем труднее его двигать, и для того, чтобы сжать воздух в пространстве в 10 раз меньшем начального, потребуется применить такое усилие, что трубка разорвется, если только она не обладает особой прочностью. Кроме того, требуется большое усилие не только, чтобы продвигать поршень внутрь, но и чтобы только удержать его, так как если мы его отпустим, сжатый воздух оттолкнет его назад. Чем сильнее сжат воздух, тем больше он стремится расшириться и прийти в свое естественное состояние. Это свойство воздуха называют упругостью или эластичностью, и об этом я намереваюсь рассказать В. В. в моем следующем письме.

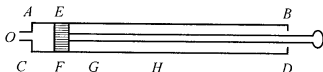
10 мая 1760 г.

Письмо 10

О разреженности и упругости воздуха

У В. В. уже была возможность убедиться в том, что воздух представляет собой жидкую материю,¹ плотность которой в 800 раз меньше плотности воды. Из этого следует, что если бы вода могла распространиться в пространстве во столько же раз большем и, следовательно, стать во столько же раз менее плотной, то она уподобилась бы воздуху, которым мы дышим. Однако воздух обладает свойством, которое ни в коей мере не присуще воде: а именно, как я уже отмечал в предыдущем письме, воздух может сжиматься, если окажется в более тесном пространстве, и от этого становится более плотным. Вместе с тем воздух обнаруживает и другое свойство, не менее удивительное: можно заставить его занять большее пространство и таким путем сделать его более

разреженным. Этот процесс называется расширением или разрежением воздуха. Для этого нужно взять, как и в предыдущем случае, трубку $ABCD$ и проделать в дне AC маленькое отверстие O . Если продвинуть поршень до F , то



воздух сможет выйти наружу через отверстие и благодаря этому плотность его не увеличится. Воздух, заполняющий теперь полость $ACEF$, будет, следовательно, в своем естественном состоянии. После этого нужно закрыть отверстие O и отодвинуть поршень назад; тогда воздух начнет последовательно распространяться по большему пространству. Когда поршень достигнет точки G , воздух, содержащийся в полости $ACEF$, заполнит пространство вдвое больше прежнего, поскольку пространство CG вдвое больше пространства CF . Следовательно, он станет в два раза менее плотным или вдвое более разреженным. Когда отводят поршень до H так, чтобы пространство CH в четыре раза превышало CF , то воздух становится в 4 раза более разреженным, чем вначале, занимая теперь объем, в четыре раза больший. И даже если бы можно было отвести поршень так далеко, что пространство увеличилось бы в 1000 раз, воздух распространился бы равномерно по всему этому пространству и стал бы в 1000 раз более разреженным.

Именно в этом и заключается существенное различие между воздухом и водой, ибо если заполнить полость $ACEF$ водой, то как бы мы ни двигали поршень, вода все время будет занимать тот же объем, что и вначале, а остальная часть трубки останется пустой.

Отсюда можно заключить, что воздух обладает постоянно присущим ему свойством расширяться, причем не только в сжатом, но и в разреженном состоянии. Какова бы ни была степень сжатия или разрежения воздуха, он всегда стремится занять больший объем и действительно распространяется, если только не встречает на своем пути какого-либо препятствия.

Эта способность расширяться называется упругостью воздуха; посредством опытов, подобных тем, которые были описаны мною ранее, удалось установить, что упругость воздуха пропорциональна плотности. Иными словами, чем больше сжат воздух, тем больше он стремится расшириться, и наоборот.

Меня могут спросить, почему воздух, находящийся сейчас в моей комнате, не вырывается наружу через дверь, поскольку он обладает способностью распространяться в большем пространстве? В. В., без сомнения, ответит, что это неизбежно произошло бы, если бы наружный воздух также не стремился к расширению. Итак, поскольку усилие, прилагаемое воздухом, чтобы выйти из комнаты, и усилие наружного воздуха, стремящегося туда проникнуть, — равны, то они взаимно уничтожают друг друга, вследствие чего воздух внутри комнаты и снаружи остается на своем месте. Но если бы, в силу каких-либо

причин, плотность наружного воздуха, а следовательно, и его упругость увеличились, то часть его проникла бы в комнату, и находящийся там воздух тоже подвергся бы сжатию и стал более упругим. Это будет продолжаться до тех пор, пока упругость воздуха внутри комнаты не сравняется с упругостью наружного воздуха. Равным образом если воздух внутри комнаты стал бы внешне более плотным и упругость его возросла бы, то он устремился бы наружу, и там плотность его, а соответственно и упругость уменьшились бы до уровня плотности и упругости наружного воздуха. Тогда движение прекратилось бы, и воздух комнаты пришел бы в равновесие с наружным воздухом.

То же и на открытом воздухе: воздух остается неподвижным, пока он обладает такой же степенью упругости, как и воздух окружающей местности; но как только воздух в каком-нибудь месте становится более или же менее упругим, чем в другом, равновесие между ними нарушается. Воздух, упругость которого выше, начнет расширяться и проникать в те места, где его упругость ниже, и именно от такого движения воздуха возникает ветер. Отсюда явствует, что в одном и том же месте упругость воздуха бывает большей или меньшей. Эти изменения регистрируются инструментом, называемым *барометром*; устройство этого инструмента заслуживает того, чтобы на нем остановиться. Однако в настоящем письме я ограничусь рассмотрением способности воздуха к сжатию и разрежению, отметив при этом, что, чем выше степень сжатия воздуха, тем сильнее его стремление распространиться и тем больше его упругость; и наоборот, чем реже воздух, тем больше снижается его плотность.

Физики изобрели машину, называемую *воздушным насосом*, с помощью которого можно осуществить как сжатие, так и разрежение воздуха. Этот насос позволяет нам провести многие удивительные опыты, из которых большая часть, наверное, уже известна В. В. Поэтому я ограничусь рассмотрением только некоторых, именно тех, которые необходимы для объяснения природы и свойств воздуха. Ибо воздух, который способствует сохранению нашей жизни, а также произрастанию всех необходимых для нас даров земли, заслуживает того, чтобы иметь о нем ясное и точное представление.

14 мая 1760 г.

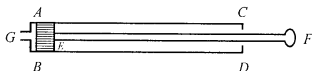
Письмо 11

О тяжести воздуха

Как я уже имел честь разъяснить В. В., воздух является жидкой субстанцией, обладающей совершенно удивительным свойством сжиматься при уменьшении объема и расширяться в большем пространстве, если ничто этому не препятствует. Иными словами, воздух способен как сгущаться, так и разрежаться. Это особое свойство, приписываемое воздуху, определяется как эластичность

или упругость,¹ поскольку оно подобно способности пружины сжиматься, а затем снова расправляться, как только будут устранены препятствия.

Помимо этого, воздух также обладает свойством, которое присуще вообще всем телам, а именно тяжестью или весом. Обладая тяжестью, все тела стремятся упасть вниз и действительно падают, если их ничто не удерживает. Ученые придерживаются различных взглядов и пребывают в неуверенности относительно истинной причины силы тяжести;² однако нет сомнений, что такая сила действительно существует. В этом нас убеждает наш повседневный опыт. Нам даже известно количественное выражение этой силы, и мы в состоянии измерить ее очень точно. Ибо вес тела есть не что иное, как сила, которая влечет его вниз. Поскольку можно узнать и точно измерить вес каждого тела, можно определить и действие, производимое тяжестью, хотя ее причина, т. е. та невидимая сила, которая влечет все тела вниз, нам совершенно неизвестна. Мы знаем, что, чем больше вещества содержит какое-либо тело, тем оно тяжелее. Так, например, золото и свинец тяжелее дерева или пера, ибо при том же объеме или величине занимаемого ими пространства они содержат больше вещества. Поскольку воздух представляет собой неплотную и разреженную материю, его тяжесть настолько мала, что почти неощутима для наших органов чувств. Однако опыты неопровержимо доказывают, что воздуху присуща определенная тяжесть. В. В. уже убедились в том, что можно сделать воздух разреженным в каком-нибудь сосуде или трубке. С помощью воздушного насоса можно добиться того, что воздух будет полностью удален из сосуда и внутренняя его полость станет совершенно пустой. Можно также проделать следующий опыт. Берут трубку *ABCD* и вводят туда поршень так, чтобы он



вплотную прилегал ко дну и чтобы между дном и поршнем не оставалось никакого воздуха. Для успешного проведения опыта рекомендуется проделать в дне небольшое отверстие *G*, через которое воздух мог бы выходить по мере того, как поршень будет продвигаться ко дну. Затем закрывают отверстие пробкой, чтобы убедиться в том, что между дном и поршнем не осталось скрытого или сжатого воздуха. После таких предварительных действий отводят поршень назад. Поскольку путь в трубку для наружного воздуха закрыт, то между дном и поршнем образуется абсолютная пустота, причем занимаемый ею объем можно увеличивать как угодно, отодвигая поршень все дальше.³ Таким способом, например, можно удалить весь воздух из внутренней полости сосуда. Взвесив на точных весах этот сосуд, свободный от воздуха, обнаружим, что он весит меньше, чем тогда, когда он был наполнен воздухом. Это позволяет нам сделать крайне важное заключение: воздух, содержащийся в полости сосуда, увеличивает его вес и, следовательно, сам воздух обладает определенным

весом. Если внутреннее пространство сосуда будет настолько велико, что сможет вместить 800 фунтов воды, то с помощью вышеописанного опыта находят, что воздух, заполняющий то же пространство, весит приблизительно один фунт. Отсюда ясно, что воздух примерно в 800 раз легче воды. Это относится к обычному окружающему нас воздуху, которым мы дышим. В. В. известно, что можно сжать воздух искусственным путем, уменьшив занимаемый им объем, и таким способом сделать его тяжелее.

Если бы сосуд, о котором я говорил выше, вмещающий 800 фунтов воды, наполнить воздухом вдвое более сжатым, чем обычный, то этот сосуд весил бы на два фунта больше, чем пустой. Если же наполнить его воздухом, сжатым в 800 раз более обычного, то вес его превысил бы на 800 фунтов вес пустого сосуда, иными словами, был бы равен весу сосуда, наполненного водой.

Итак, воздух обладает определенной *тяжестью*, хотя в естественном состоянии *вес* его крайне мал. Воздуху присуще стремление опускаться вниз и давить на тела, находящиеся ниже и мешающие ему опуститься. Именно по этой причине воздух, находящийся выше, давит на воздух, лежащий ниже, и последний под тяжестью всей вышележащей массы воздуха приходит в сжатое состояние. Отсюда следует, что воздух вокруг нас обладает определенной степенью сжатия, или плотности, вследствие того что подвергается давлению вышележащей массы воздуха. Если бы воздух, находящийся выше, обладал большим или меньшим весом, то иной была бы и степень сжатия того воздуха, который нас окружает.

Таким образом, нижний слой воздуха поддерживает верхний слой, который давит на него своей тяжестью. Отсюда следует, что, чем выше мы поднимаемся на башню или на гору, тем более разреженным будет воздух. И если бы представилась возможность подняться еще выше, то мы достигли бы предела, за которым воздух как бы совершенно исчезает или становится столь разреженным, что его присутствие уже не ощущается. Наоборот, если мы спускаемся в очень глубокое подземное помещение, то чувствуем, что плотность воздуха постепенно возрастает, так как все большая масса воздуха давит на него сверху. Если бы было возможно проделать отверстие до самого центра Земли, то там в глубине плотность воздуха увеличилась бы так, что достигла плотности воды, а в конце концов и плотности золота.

17 мая 1760 г.

Письмо 12

Об атмосфере и барометре

После того как мне удалось доказать, что воздух является субстанцией текучей, сжимаемой и имеющей вес,¹ я отмечу, что вся Земля окружена со всех сторон этим воздухом, именуемым атмосферой. Невозможно, чтобы какая-либо местность на Земле была лишена воздуха и над нею не было бы ничего,

иными словами — полная пустота. Ибо тогда воздух из близлежащих областей, испытывающий давление верхнего слоя атмосферы и, следовательно, стремящийся занять больший объем, тотчас проник бы в упомянутую выше местность и заполнил пустое пространство.

Таким образом, атмосфера заполняет все пространство вокруг Земли и повсюду воздух внизу под тяжестью верхнего воздушного слоя пребывает в сжатом состоянии. Если сжимать воздух, его упругость возрастает. Каждой степени сжатия соответствует определенная степень упругости, и в меру этой упругости воздух стремится расшириться.

Итак, воздух постоянно сжимается под тяжестью верхнего слоя до тех пор, пока его упругость не станет равной силе, которая его сжимает. Хотя воздух подвергается давлению только сверху, благодаря своей упругости он стремится распространиться во всех направлениях, не только вниз, но и в разные стороны. Именно в этом кроется причина того, что воздух внутри комнаты находится в столь же сжатом состоянии, как и воздух снаружи, что показалось весьма странным некоторым философам. Ибо, говорят они, воздух внутри комнаты подвергается давлению только того воздуха, который находится в ней наверху, между тем как на наружный воздух давит тяжесть всей атмосферы, высота которой почти беспредельна. Но это сомнение легко разрешается, если принять во внимание особое свойство воздуха, который, будучи сжат, стремится распространиться во всех направлениях. Поэтому воздух внутри комнаты немедленно приводится до той же степени сжатия и упругости, что и наружный воздух.

Итак, находимся ли мы внутри комнаты или снаружи, мы испытываем одинаковое давление воздуха, но, конечно, при условии, что это происходит на одной и той же высоте, т. е. на одинаковом расстоянии от центра Земли. Ибо если мы поднимемся на высокую башню или на гору, то, как я уже указывал, давление воздуха там ослабевает, так как тяжесть вышележащих слоев атмосферы становится меньше.

Многие явления неопровержимо подтверждают, что воздух находится в сжатом состоянии.

Если взять трубку AB , закрытую со стороны A , наполнить ее водой или другой жидкостью и перевернуть так, чтобы открытый конец B оказался внизу, то из трубки ничего не вытечет.² Упругость, или давление воздуха, который давит на жидкость у оконечности B , удерживает ее внутри трубки. Но если проделать отверстие в A , то жидкость сразу выльется, ибо воздух будет тогда давить на воду сверху и толкать ее вниз.³

Отсюда ясно, что, когда трубка закрыта сверху, сила наружного воздуха удерживает в ней воду. Если же поместить такую трубку в сосуд, откуда выкачан воздух с помощью пневматического насоса, то вода немедленно вытечет.

Древние, которым было неизвестно это свойство воздуха, полагали, что природа удерживает жидкость в трубке из-за присущей ей боязни пустоты. Ибо, — говорили они, — если бы жидкость опустилась, то в верхней части

трубки образовалась бы пустота, поскольку воздух не мог бы туда проникнуть. Таким образом, именно боязнь пустоты, по их мнению, не позволяет жидкости вылиться из трубки.

Однако теперь доказано, что жидкость удерживается в трубке силой воздуха. И поскольку эта сила имеет определенную величину, то этот эффект может иметь место только в известных пределах. Так, было установлено, что если трубка АВ, наполненная водой, имеет длину более 33 футов, то вода в ней не удержится. Она будет вытекать до тех пор, пока ее высота в трубке не достигнет 33 футов, а выше останется самая настоящая пустота.⁴

Итак, сила воздуха способна удерживать в трубке столб воды высотой только в 33 фута. И поскольку та же сила поддерживает вес всей атмосферы, то можно сделать вывод, что давление атмосферы равно давлению водяного столба высотой в 33 фута.

Если вместо воды взять ртуть, которая в 14 раз тяжелее, то сила воздуха сможет удержать ее в трубке только на высоте около 28 дюймов.⁵ В более длинной трубке ртуть опустится до уровня, соответствующего давлению атмосферы, оставив в верхней части трубки пустое пространство.

Такая трубка, наполненная ртутью, закрытая сверху и открытая внизу, служит прибором, который называется *барометром*. С помощью этого прибора удалось установить, что давление атмосферы не всегда одинаково. Можно определить это давление по высоте ртути в барометре, которая, поднимаясь или опускаясь, показывает нам, что давление воздуха или атмосферы становится больше или меньше. Так показывает барометр, и всякий раз, когда ртуть в нем поднимается или опускается, это служит верным признаком того, что атмосферное давление повышается или понижается.

Именно это я и намеревался объяснить В. В.

20 мая 1760 г.

Письмо 13

О духовых ружьях и о сжатии воздуха в пушечном порохе

После того как я познакомил В. В. с необычайным свойством воздуха, благодаря которому его можно заставить занять меньший объем, иными словами, с тем, что именуется сжатием воздуха, я считаю себя вправе приступить к объяснению некоторых явлений, как природных, так и создаваемых искусственным путем. Я начну с духового ружья,¹ не сомневаясь, что это приспособление хорошо известно В. В.

Устройство этого ружья в общем напоминает устройство обычных ружей, но для того, чтобы выпустить пулю, здесь вместо пороха применяется сжатый воздух.²

Чтобы понять принцип действия этого ружья, нужно принять во внимание, что для сжатия воздуха требуется применить силу тем большую, чем выше должна быть степень сжатия.

Итак, когда воздух находится в сжатом состоянии, он стремится расшириться и его сила при этом в точности равна силе, требуемой для того, чтобы привести его в это состояние сжатия. Следовательно, чем выше степень сжатия воздуха, тем сильнее будет его стремление занять прежний объем. Если увеличить плотность воздуха в два раза по сравнению с обычной, что произойдет, если заставить его занять вдвое меньший объем, то сила, которую он разовьет для того, чтобы вновь расшириться, будет равна давлению водяного столба высотой в 33 фута.

В. В. следует только представить себе бочку подобной высоты, наполненную водой. Вода, без сомнения, будет сильно давить на дно, и если проделать в дне отверстие, то она хлынет оттуда с большим напором. Мы почувствовали бы силу этого напора, если бы попытались заткнуть отверстие пальцем; дно бочки испытывает такое давление по всей своей площади. Итак, сосуд, который содержит воздух, в два раза более плотный, чем обычный, будет испытывать точно такое давление; и если он недостаточно прочен, чтобы выдержать такое давление, он разобьется. Следовательно, нужно, чтобы стенки этого сосуда были столь же прочны, как и дно упомянутой мною бочки. Если бы плотность воздуха в этом сосуде превосходила обычную в три раза, то его давление соответственно возросло бы и стало равным давлению, которое испытывает дно бочки высотой в 66 футов, наполненной водой.

В. В. без труда поймет, что такое давление весьма велико, и оно будет еще возрастать по тому же закону, если сжать воздух в 4 раза, в 5 раз и более по сравнению с обычным.

Установив это, перейдем к описанию духового ружья. Внутри этого ружья имеется закрытая со всех сторон камера, в которую постепенно нагнетают воздух так, чтобы сжать его до максимальной плотности, насколько это позволяют средства, имеющиеся в нашем распоряжении. Благодаря этому содержащийся в камере воздух разовьет необычайную силу для того, чтобы вырваться на свободу. Если проделать отверстие в камере, то он немедленно оттуда вырвется со страшной силой. Такое отверстие в ружье имеется, оно сообщается с каналом ствола, куда вставляют пулю. Это отверстие наглухо закрыто, но, желая выстрелить, делают соответствующее движение, отчего отверстие на какое-то время открывается. Воздух вырывается наружу и выталкивает пулю, сообщая ей ту силу, с которой, как мы знаем, она вылетает из дула.

При каждом выстреле отверстие остается открытым на очень короткое время. Поэтому через него выходит лишь небольшое количество воздуха и остается еще достаточно, чтобы произвести несколько выстрелов. Однако с каждым разом плотность воздуха, а следовательно, и сила его давления уменьшаются. Поэтому следующие выстрелы будут слабее, чем первые, и в конце концов их сила полностью иссякнет. Если бы упомянутое отверстие оставалось

открытым более долгое время, из него вышло бы больше воздуха, и в основном без всякой пользы, ибо сила действует на пулю, только пока пуля находится в стволе ружья. Как только она оттуда вылетит, бесполезно оставлять отверстие открытым.

Отсюда легко понять, что если можно было бы довести сжатие воздуха до значительно большей степени, то, стреляя из духового ружья, можно было бы добиться такого же эффекта, как при стрельбе из обычного ружья и пушки. В самом деле, действие артиллерии основано на том же принципе. Пушечный порох есть не что иное, как вещество, которое содержит в своих порах воздух, сжатый до предела. Сама природа действует так же, как действуем мы, когда осуществляем сжатие воздуха, но здесь сжатие достигает значительно большей степени. Нужно только раскрыть эти маленькие полости, в которых заключен сжатый воздух, и тем самым позволить ему вырваться на свободу. Для этого применяют огонь, который разрушает поры;³ воздух мгновенно вырывается оттуда со страшной силой и выталкивает пули и ядра так же, как мы это видим в духовом ружье, но со значительно большей силой.

Итак, перед нами два поразительных явления, порожденные сжатием воздуха, с той единственной разницей, что в одном случае сжатие осуществляется искусственным путем, а в другом — самой природой. Мы видим здесь, как и повсюду, что деяния природы далеко превосходят то, что может создать человеческий ум. Всюду мы находим прекрасные поводы восхищаться могуществом и мудростью Творца природы.

24 мая 1760 г.

Письмо 14

О действии, оказываемом теплом и холодом на все тела; о пирометрах и термометрах

Воздух обладает еще одним весьма примечательным свойством, общим со всеми другими телами, не исключая и твердых: он подвержен изменениям под влиянием холода и тепла.¹

Наблюдениями установлено, что все тела, если их нагреть, становятся больше. Железная полоса, сильно нагретая, несколько длиннее и толще, чем когда она была холодная. Имеется прибор, именуемый *пирометром*,² устроенный таким образом, что он может показывать весьма отчетливо малейшие изменения длины полосы, которую в него помещают.

В. В. известно, что в часах некоторые колесики движутся крайне медленно, а другие — очень быстро, хотя именно первые вызывают движение последних. Таким образом, по образцу часового механизма можно добиться того, чтобы

изменения, почти не ощутимые, порождали другие, весьма заметные; именно так устроен упомянутый мною пирометр. Когда полоса из железа или какого-либо другого материала, помещенная в этот прибор, становится несколько длиннее или короче, указатель, подобный стрелке часов, приводится этим в движение и проходит весьма заметное расстояние. Если подставить под полосу лампу для нагрева, то, как только полоса начнет прогреваться, указатель сразу же приходит в движение и показывает, что длина полосы увеличивается. Чем сильнее нагревают полосу, тем она становится длиннее. Если погасить лампу и дать полосе остыть, указатель будет двигаться в обратном направлении и покажет тем самым, что полоса снова стала короче. Однако это изменение столь незначительно, что без помощи прибора было бы весьма трудно его обнаружить.

Подобное изменение длины наблюдается также и в часах с маятником, называемых попросту *маятниками*. Маятник служит там для регулирования движения: если его удлинить, часы идут более медленно, если же укоротить, часы начинают спешить. Итак, было замечено, что в сильную жару все часы с маятником идут слишком медленно, а при сильном холоде — слишком быстро. Это неопровержимо доказывает изменение длины маятника под воздействием тепла или холода.

Способность изменяться под влиянием тепла и холода присуща всем предметам; однако степень изменчивости не у всех одинакова, так как она зависит от природы вещества, из которого состоят данные предметы; одни из них подвержены изменениям в значительно большей степени, чем другие. Жидкости особенно чувствительны к изменениям температуры. Чтобы убедиться

в этом, возьмем стеклянную трубку *BC*, присоединенную концом *B* к полному шару *A*. Наполним трубку какой-либо жидкостью, допустим, до уровня *M*. Когда мы начнем нагревать шар *A*, уровень жидкости поднимется от *M* к *C*, а если нагревание сменить охлаждением, жидкость опустится вниз к *B*. Отсюда ясно, что одна и та же жидкость занимает больший объем в нагретом состоянии и меньший — в охлажденном. Очевидно, что это изменение должно быть более заметным, когда шар большой, а трубка узкая. Ибо если весь объем жидкости увеличивается или уменьшается на одну тысячную долю, то эта тысячная доля займет в трубке тем большую длину, чем более узкой будет трубка. Подобный прибор равным образом весьма удобен для того, чтобы указывать нам различные градации тепла и холода, ибо если жидкость в этом приборе поднимается или опускается, то это служит верным показателем того, что температура увеличивается или уменьшается. Такой прибор, называемый *термометром*, используется

для определения изменений температуры. Это совсем другой прибор, чем барометр, который показывает нам давление воздуха, или, вернее, силу сжатия воздуха здесь, на Земле. Мое замечание тем более уместно, что барометры и термометры обычно очень похожи друг на друга: и тот и другой



состоят из стеклянной трубки, наполненной ртутью. Однако их устройство и принцип действия совершенно различны.

Способность всех тел расширяться при высокой температуре и сжиматься при низкой присуща также и воздуху, причем в очень большой степени. Я намерен поговорить об этом подробнее в следующем письме.

27 мая 1760 г.

Письмо 15

Об изменениях, которые вызывают в атмосфере тепло и холод

Тепло и холод оказывают на воздух такое же воздействие, как и на все другие тела. От тепла воздух разрежается, а от холода сгущается. Итак, как я уже прежде имел честь объяснить В. В., данное количество воздуха не обязательно должно занимать определенное пространство, подобно всем другим телам. Природа воздуха такова, что он всегда стремится занять больший объем и в самом деле расширяется, пока не встретит на своем пути преград, препятствующих его дальнейшему распространению. Это свойство воздуха называется упругостью.

Так, если воздух находится в закрытом сосуде, то он стремится разбить сосуд, и требуемое для этого усилие тем больше, чем сильнее сжат воздух в сосуде.

Было установлено правило, согласно которому упругость воздуха пропорциональна его плотности. Таким образом, если плотность в два раза выше обычной, то соответственно в два раза больше будет и его упругость; и вообще каждой величине плотности соответствует определенная степень упругости.

Однако пришло время отметить, что это правило верно только в том случае, если воздух сохраняет одну и ту же температуру.¹ Как только воздух становится более теплым, его способность к расширению усиливается по сравнению с той, которая была бы при данной плотности. Напротив, холод оказывает на воздух противоположное действие, ослабляя его способность к расширению.

Итак, чтобы узнать, какова истинная упругость некоего объема воздуха, недостаточно знать его плотность, нужно также, чтобы была известна подобающая ей температура.

Чтобы внести окончательную ясность в этот вопрос, представим себе две комнаты, закрытые со всех сторон, но сообщающиеся между собой через дверь, причем в обеих комнатах температура одинаковая, поэтому в той и другой комнате воздух должен иметь одинаковую плотность; ибо если бы воздух в одной из них был более плотным и, следовательно, более упругим, то часть воздуха стала бы уходить в другую комнату, и это продолжалось бы до тех пор, пока плотность в обеих комнатах не сравняется.

Теперь предположим, что в одной комнате воздух стал теплее, чем в другой. Поскольку он приобретает большую упругость, то станет расширяться и, проникнув в другую комнату, заставит находящийся там воздух сжиматься до тех пор, пока упругость воздуха в той и в другой комнатах не станет одинаковой. В то время как это происходит, возникает ветер, который пройдет через дверь из теплой комнаты в холодную. Когда же равновесие восстановится, воздух станет более редким в теплой комнате и более плотным в холодной. Отсюда ясно, что два объема воздуха различной плотности могут иметь одну и ту же упругость, если один более нагрет, чем другой. В силу тех же причин может случиться, что воздух в двух объемах с одинаковой плотностью будет обладать различной упругостью.

Мои объяснения относительно двух комнат применимы также и к двум местностям: можно понять, что если в одной местности воздух становится более теплым, чем в другой, то он неизбежно начнет перемещаться из первой во вторую; в результате возникает ветер. Таков неиссякаемый источник ветра, хотя, по-видимому, существуют и другие источники, объясняемые различием в температурах, наблюдаемых в разных областях Земли. Можно доказать, что весь воздух вокруг Земли не мог бы находиться в покое, разве что в том случае, если бы повсюду на равной высоте он имел не только одинаковую плотность, но и одинаковую температуру. Если бы нигде на поверхности Земли не было ветра, то можно было бы с уверенностью заключить, что воздух повсюду на одинаковой высоте обладает одной и той же плотностью и температурой. Но, поскольку такого никогда не бывает, всегда должны дуть ветры, по крайней мере в некоторых областях. Однако эти ветры дуют только обычно на поверхности Земли; чем выше мы поднимаемся, тем они будут слабее. На самых высоких горах ветра почти не бывает, там царит вечный покой. Поэтому не приходится сомневаться, что на еще большей высоте воздух постоянно пребывает в неподвижности.² Из этого следует, что на этих высотах повсюду над Землей сохраняется одна и та же плотность воздуха и одна и та же температура. Ибо, если в каком-нибудь месте было теплее, чем в другом, воздух не мог бы остаться неподвижным и возник бы ветер. Но, поскольку на этих высотах ветра нет, можно сделать вывод, что температура там должна быть всегда и всюду неизменной.

Это, несомненно, удивительный парадокс, если учесть чрезвычайно большие колебания температуры, которые мы испытываем здесь, на Земле, в течение года и даже на протяжении нескольких дней, не говоря уже о различии климатов, т. е. о нестерпимой жаре на экваторе и вечных льдах на полюсе. Тем не менее опыт подтверждает истинность этого странного парадокса. На высоких горах Швейцарии снег и лед лежат и летом, и зимой, а в *Кордильерах*, высоких горах Перу в Америке, лежащих на самом экваторе, снег и лед не претерпевают никаких изменений, и там царит такой же жестокий холод, как и в полярных областях. Высота этих гор не достигает немецкой мили или 24 000 футов, что позволяет сделать следующее смелое предположение: если бы мы могли взлететь на высоту 24 000 футов от Земли, то встретили бы

всюду и всегда одинаковый холод, и даже холод чрезмерный. Мы не заметили бы никакой разницы ни между летом и зимой, ни между экватором и полюсами. На такой высоте и еще выше состояние атмосферы всегда и повсюду остается неизменным. Колебания температуры имеют место только у поверхности Земли. Только здесь, внизу, действие солнечных лучей становится ощутимым. В. В., по-видимому, захочется узнать причину этого явления, о котором я намереваюсь рассказать в следующем письме.

31 мая 1760 г.

Письмо 16

*Почему повсюду и в любое время года
одинаково ощущается низкая температура,
как тогда, когда поднимаются на самые высокие горы,
так и тогда, когда спускаются
в самые глубокие погреба*

Странное явление наблюдается повсюду на Земле: если подняться на очень большую высоту, такую, как например 24 000 футов (допустим, что это возможно),¹ то повсюду мы будем испытывать одинаковый холод, между тем как у поверхности Земли колебания температуры весьма значительны, причем не только в странах с различным климатом, но также в одной и той же местности в разное время года. Такие колебания внизу вызваны, без сомнения, Солнцем. Может показаться, что его действие должно быть одинаковым как наверху, так и внизу, в особенности если учесть, что высота в 24 000 футов или одну милю — ничто в сравнении с расстоянием от нас до Солнца, равным примерно тридцати миллионам миль,² хотя и высота в одну милю представляется нам огромной: это выше самых высоких облаков.³ Такое сомнение заслуживает внимания, и нужно попытаться его разрешить.

Прежде всего я должен отметить, что солнечные лучи нагревают предметы, только если эти последние не позволяют лучам свободно сквозь них проходить.⁴ В. В. известно, что тела, через которые можно видеть другие предметы, называются *прозрачными*. К ним относятся стекло, хрусталь, алмаз, вода и некоторые другие жидкости, причем одни из них более прозрачны, другие менее. Прозрачное тело, если выставить его на Солнце, нагревается от этого в меньшей степени, чем тело непрозрачное, например дерево, железо и т. п. Тела, не пропускающие сквозь себя лучи, называются *непрозрачными*, или *темными*. Таким образом, зажигательное стекло, пропуская через себя лучи, зажигает непрозрачные тела и, однако же, само от этого не нагревается. Так же вода, находящаяся под лучами Солнца, может немного нагреться, только если она не со-

всем прозрачна. Когда же мы видим, что вода вблизи берегов реки нагрета Солнцем, то это потому, что дно как непрозрачное тело нагревается лучами, прошедшими через воду. Нагретое тело всегда обогревает близлежащие тела, и, следовательно, вода, о которой я только что говорил, получает тепло от дна. Но если вода настолько глубока, что лучи не могут достигнуть дна, то тепло в такой воде почти не ощущается, хотя бы Солнце грело очень сильно.

Пойдем далее: воздух очень прозрачен, и даже еще в большей степени, чем стекло или вода. Отсюда следует, что он не может нагреваться Солнцем, так как лучи проходят через воздух беспрепятственно. Все тепло, которое мы часто ощущаем в воздухе, передается ему от непрозрачных тел, нагретых солнечными лучами. Если было бы возможно убрать все эти тела, то солнечные лучи не вызвали бы почти никакого изменения температуры воздуха, и он оставался бы одинаково холодным, независимо от того, светит на него Солнце или нет.

Однако воздух у поверхности Земли не обладает абсолютной прозрачностью. Иногда он даже настолько насыщен парами, что становится почти полностью непрозрачным и предстает перед нами в виде тумана. Если воздух находится в таком состоянии, то лучи Солнца действуют на него сильнее и могут нагреть его непосредственно. Но пары не поднимаются очень высоко. На высоте 24 000 футов и выше воздух настолько разрежен и чист, что становится совершенно прозрачным, и, следовательно, лучи Солнца не могут оказать на него никакого непосредственного воздействия. Кроме того, этот воздух находится так далеко от земных предметов, что они не могут сообщить ему свое тепло. Подобная передача тепла не может осуществляться на очень далекие расстояния. Отсюда В. В. может без труда понять, что высоко над поверхностью земли солнечные лучи не оказывают никакого действия и поэтому там царит повсюду и всегда одинаковый холод; ибо воздух от Солнца не нагревается, а тепло земных предметов так далеко не передается. То же самое наблюдается на высоких горах, где всегда холоднее, чем на равнинах и в долинах.

Город Кито в Перу⁵ находится почти под самым экватором, и если судить по его местоположению, там должно быть невыносимо жарко. Однако воздух там имеет умеренную температуру и ненамного отличается от парижского. Это объясняется тем, что город расположен очень высоко над уровнем моря. Когда туда прибывают с моря, нужно подниматься много дней, ибо эта местность находится на такой же высоте, как и наши самые высокие горы, а между тем она еще окружена очень высокими горами, которые называются Кордильерами. Может показаться, что из-за этого последнего обстоятельства воздух в Кито должен был бы стать таким же теплым, как у поверхности Земли, поскольку он соприкасается повсюду с непрозрачными телами, на которые падают солнечные лучи. Это соображение убедительно, и его можно опровергнуть только тем, что воздух в Кито, находящийся на большой высоте, значительно легче и разреженнее, чем у нас; это подтверждается показаниями барометра, который стоит на несколько дюймов ниже, чем в наших краях.⁶ Такой воздух не способен воспринять столько же тепла, сколько воздух более густой и

плотный, поскольку он не может содержать такого же количества паров и других частиц, обычно летающих в воздухе. Нам уже известно по опыту, что воздух, насыщенный примесями, легче нагревается.

Я могу еще привести в пример другое явление, не менее поразительное: в очень глубоких подземельях (и даже еще глубже, если бы можно было туда проникнуть) повсюду и всегда наблюдается одинаковая температура. Причина этого явления примерно та же. Так как солнечные лучи проявляют свое действие только на поверхности Земли, откуда оно распространяется как вверх, так и вниз, и поскольку эта передача не может осуществляться на далекие расстояния, то на большой глубине, так же как и на большой высоте, влияние этих лучей совершенно не ощущается.

Я надеюсь, что такое объяснение удовлетворит любопытство В. В.

3 июня 1760 г.

Письмо 17

О лучах света и о системах Декарта и Ньютона

После того как я уже столько говорил о солнечных лучах, этом источнике тепла и света, которыми мы все наслаждаемся, у В. В., без сомнения, возникнет вопрос: что представляют собой солнечные лучи?¹ Бесспорно, это одна из наиболее важных проблем физики; она охватывает бесчисленное множество явлений. Все, что касается света, и все то, что делает предметы видимыми, тесно связано с этой проблемой. Древние философы, судя по всему, крайне мало интересовались решением этого вопроса. Большинство из них довольствовалось утверждением, что Солнцу присуща способность греть, освещать и светить. Но здесь вполне справедливо было бы задать вопрос: в чем состоит эта способность? Можно ли утверждать, что нечто от самого Солнца или образующей его субстанции доходит до нас? Или же здесь происходит нечто, сходное с ударом колокола, звук которого достигает нашего слуха, но при этом ни одна частица самого колокола не доходит до нас, как я уже имел честь указать В. В., объясняя распространение и восприятие звука?

Декарт² первый из современных философов придерживался этого последнего мнения. Согласно Декарту, вся Вселенная заполнена тончайшей субстанцией,³ состоящей из маленьких шаровидных телец, которую он называет «вторым элементом». Декарт полагал, что Солнце находится в состоянии непрерывного возбуждения, которое беспрестанно сообщается этим тельцам, а от них мгновенно распространяется по всей Вселенной. Однако после того как было установлено, что солнечные лучи доходят до нас не мгновенно и что им требуется около 8 минут, чтобы пройти это громадное расстояние,⁴ мнение

Декарта было опровергнуто. Надо сказать, что оно имело и другие существенные недостатки.

Далее великий Ньютон⁵ присоединился к первому мнению. Он утверждал, что солнечные лучи представляют собой часть субстанции Солнца, которая действительно отделяется от него в виде мельчайших частиц; последние распространяются вокруг и несутся со столь невероятной скоростью, что проходят расстояние от Солнца до нас примерно за 8 минут.

Это мнение, которого придерживается в настоящее время большинство философов, в особенности англичане, называется *теорией истечения*,⁶ так как полагают, что Солнце и другие светящиеся тела действительно изливают из себя лучи, подобно тому как фонтан испускает или выбрасывает струи воды. Подобное утверждение кажется с первого же взгляда очень смелым и противным здравому смыслу. Ибо если Солнце непрерывно изливало бы из себя во всех направлениях такие потоки светящейся материи, причем с такой поразительной скоростью, то можно думать, что материя Солнца должна была бы вскоре истощиться,⁷ или по крайней мере удалось бы обнаружить за столько веков некоторое ее оскудение, что, однако, не подтверждается наблюдениями.

Нет сомнения, что фонтан, разбрасывающий во все стороны струи воды, иссякнет тем быстрее, чем больше скорость истечения воды, и, следовательно, необычайная скорость движения лучей должна была бы вызвать истощение в скором времени субстанции материи Солнца. Можно полагать частицы, из которых состоят лучи, сколь угодно малыми, это не спасет положения: теория по-прежнему будет противоречить здравому смыслу. Нельзя утверждать, что лучи не распространяются всюду вокруг и во всех направлениях, ибо в каком бы месте мы ни находились, мы видим Солнце все целиком, а это доказывает, что к этому месту лучи устремляются из всех точек солнечной поверхности. Следовательно, здесь мы имеем нечто совсем иное, чем в случае с фонтаном, разбрасывающим во все стороны струи воды. В фонтане каждая струя выбрасывается только из одной точки и направляется к одному определенному месту, так что от каждой точки отходит только одна струя. Что же касается Солнца, то каждая точка его поверхности испускает бесчисленное множество лучей, которые расходятся во всех направлениях. Уж одно это обстоятельство должно было бы в огромной степени увеличить расход световой материи, излучаемой Солнцем.

Но есть и другая трудность, не менее существенная: она состоит в том, что не только Солнце, но и все звезды изливают из себя лучи. Итак, поскольку повсюду будут находиться лучи, испускаемые Солнцем и звездами, которые должны встречаться друг с другом и пересекаться, спрашивается, с какой же силой они будут при встрече ударяться друг о друга? И как изменится от таких встреч их направление? Подобные столкновения должны были бы иметь место со всеми светящимися телами, которые мы видим одновременно; однако каждое из них мы видим совершенно раздельно, и ни одно не препятствует видеть другое. Это неопровержимо доказывает, что множество лучей могут проходить

через одну и ту же точку, не препятствуя друг другу, что кажется несовместимым с теорией «истечения».

Действительно, если сделать так, чтобы две струи воды столкнулись друг с другом, мы увидели бы тогда, что их движение будет полностью нарушено. Отсюда ясно, что движение световых лучей существенно отличается от движения струй воды и вообще всякой материи, разбрасываемой в разные стороны.

Далее, рассматривая свойства прозрачных тел, через которые лучи проходят беспрепятственно и в любую сторону, последователи вышеизложенной теории вынуждены утверждать, что эти тела содержат поры, расположенные по прямым линиям, проходящим от каждой точки на поверхности во всех направлениях, ибо невозможно представить себе такую линию, по которой не мог бы двигаться солнечный луч, притом с такой непостижимой скоростью и даже не встречая никаких препятствий. Вот уж поистине тела, испещренные дырами, как решето, которые, однако, кажутся нам совершенно плотными. Наконец, для того чтобы мы могли видеть, лучи должны проникнуть в наш глаз и пройти через вещество глаза с той же скоростью. Полагаю, что все эти нелепости убедят В. В. в том, что принцип «истечения» не может ни в коем случае существовать в природе. В. В., без сомнения, очень удивится, узнав, что эта теория была придумана столь великим человеком (Ньютоном) и принята многими просвещенными философами. Однако уже Цицерон⁸ заметил, что нельзя придумать такой вздор, который философы не были бы способны отстоять. Что касается меня, то я в недостаточной степени философ, чтобы присоединиться к мнению Ньютона.

7 июня 1760 г.

Письмо 18

О затруднениях, с которыми встречаются в этой последней системе истечения

Сколь бы странной ни казалась В. В. гипотеза великого Ньютона, утверждавшего, что лучи испускаются Солнцем посредством реального «истечения», эта гипотеза, однако, получила столь широкое одобрение, что почти никто не осмелился усомниться в ее правильности. Этому способствовал более всего огромный авторитет знаменитого английского философа, который первый открыл истинные законы движения небесных тел. Именно это открытие привело его к теории «истечения». Декарт, чтобы поддержать его теорию, предположил, что все небесное пространство заполнено тончайшей субстанцией, сквозь которую все небесные тела движутся совершенно беспрепятственно. Однако известно, что, если какое-либо тело движется через воздух, оно встречает некоторое противодействие. Отсюда Ньютон заключил, что какой бы тонкой ни была небесная субстанция, планеты не могут двигаться сквозь нее, не преодо-

левая некоторого сопротивления. Однако, говорил Ньютон, это движение совершается без всякого противодействия, а, следовательно, необъятное небесное пространство не содержит никакой материи. Там царит повсюду абсолютная пустота. В этом и заключается одно из основных положений теории Ньютона: просторы Вселенной не содержат в промежутках между небесными телами никакой материи.¹ Если это так, то, следовательно, между Солнцем и нами или, во всяком случае, между Солнцем и атмосферой будет находиться абсолютно пустое пространство. И в самом деле, чем выше мы поднимаемся, тем воздух становится реже, и поэтому нам кажется, что в конце концов он должен совершенно исчезнуть.

Но если пространство между Солнцем и Землей совершенно пустое, то невозможно, чтобы лучи доходили до нас путем передачи, подобно тому как звук колокола, передаваемый по воздуху, достигает нашего слуха. Допустим, что исчез бы воздух в пространстве между нами и колоколом; мы тогда не могли бы ничего услышать, как бы сильно ни ударять в колокол.

Если предполагать, что между небесными телами находится абсолютно пустое пространство, то ничего не остается другого, как принять теорию «истечения». Именно эти соображения побудили Ньютона утверждать, что Солнце, а также все светящиеся тела действительно испускают лучи и что эти лучи являются частью вещества этих тел, извергаемой с ужасающей силой. Эта сила поистине должна быть ужасающей, поскольку она сообщает лучам непостижимую скорость, позволяющую им пройти расстояние от Солнца до нас за 8 минут.

Посмотрим теперь, насколько это объяснение совместимо с основным положением Ньютона, согласно которому небесное пространство — абсолютная пустота, что и позволяет планетам двигаться, не встречая никакого сопротивления.² В. В. может легко себе представить, что небесные пространства отнюдь не будут пустыми, а заполнятся лучами не только от Солнца, но и от всех других светил. Эти лучи будут пересекать пространство непрерывно, во всех направлениях и с огромной скоростью. Поэтому небесные тела в своем движении будут встречать не пустоту, а материю световых лучей, находящуюся в состоянии крайнего возбуждения, которое будет нарушать движение тел в значительно большей степени, чем если бы эта материя находилась в покое.³

Итак, Ньютон, опасаясь, как бы тончайшая материя, существование которой предположил Декарт, не помешала движению планет, был вынужден прибегнуть к весьма странному допущению, которое противоречило его собственному замыслу, поскольку в этом случае планеты в своем движении должны были бы встретить значительно большее противодействие.

Таков печальный пример того, как человеческий разум, желая избежать какого-либо противоречия, часто приходит к еще более нелепым воззрениям.

Я уже имел честь обратить внимание В. В. на другие непреодолимые трудности, которые сопутствуют теории «истечения». Теперь мы видим, что главный и даже единственный довод, который привел Ньютона к этому мнению,

сам по себе настолько противоречив, что полностью себя опровергает. Все эти соображения в совокупности побуждают нас, не колеблясь ни минуты, отказаться от этой странной теории истечения света, как бы ни был велик авторитет философа, который ее выдвинул. Ньютон был, бесспорно, один из величайших гениев, которые когда-либо существовали. Его глубокая ученость, его проникновение в самые скрытые тайны природы будут всегда вызывать восхищение у нас и у наших потомков. Однако заблуждения этого великого человека должны учить нас смирению и заставить нас признать слабость человеческого разума, который, поднявшись на величайшую высоту, доступную человеку, тем не менее зачастую подвергается опасности впасть в самую грубую ошибку.⁴

Если нам грозят столь плачевные неудачи, когда мы исследуем явления видимого мира, доступного нашим органам чувств, то сколь мы были бы несчастны, если бы Бог предоставил нас самим себе в познании невидимых вещей, необходимом нам для спасения души. Именно здесь нам требуется откровение, и мы должны принимать его с величайшим благоговением. И когда откровение являет нам вещи, которые нам кажутся непостижимыми, нам остается только вспомнить о слабости нашего разума, столь легко заблуждающегося даже при изучении видимого мира. Каждый раз, когда я вижу вольнодумцев, которые подвергают критике истины нашей религии⁵ и даже насмеваются над ними с наглым самодовольством, я думаю: «Жалкие смертные! Насколько вещи, о которых вы так легкомысленно судите, более возвышенны, чем те, которые заставили Ньютона так грубо заблуждаться!».

Я желал бы, чтобы это рассуждение навсегда запечатлелось в памяти В. В.; слишком часто встречаются здесь случаи, когда возникает в нем настоятельная необходимость.

10 июня 1760 г.

Письмо 19

Изложение другой системы о природе лучей света

В. В. только что смогли убедиться, что теория «истечения» лучей сопряжена с непреодолимыми трудностями и что представление о пустоте, якобы занимающей все пространство между небесными телами, никоим образом не может быть допущено, ибо в этом случае сами световые лучи заполнили бы все это пространство.

Итак, необходимо согласиться со следующими двумя положениями: первое — что промежутки между небесными телами заполнены тончайшей материей, и второе — что лучи не являются эманацией Солнца и других светя-

щихся тел, выбрасывающей часть их вещества, как это утверждал Ньютон. Эта тончайшая материя, заполняющая все пространство между небесными телами, называется *эфиром*; ее чрезвычайная тонкость не вызывает сомнений.

Чтобы получить надлежащее представление об эфире, достаточно присмотреться к воздуху; будучи весьма тонкой субстанцией у поверхности Земли, он становится все более разреженным, по мере того как поднимается выше и в конце концов как бы совсем исчезает или же смешивается с эфиром. Эфир является, следовательно, такой же текучей материей, как и воздух, но несравненно более тонкой и летучей, поскольку нам известно, что небесные тела проходят через него, не встречая сколько-нибудь заметного сопротивления. Эфир, без сомнения, обладает также упругостью и благодаря этому свойству он стремится распространиться во все стороны и проникнуть в пространства, которые окажутся пустыми. Таким образом, если в силу каких-либо причин эфир будет удален из какого-нибудь места, то находящийся по соседству эфир мгновенно туда проникнет и вновь заполнит пространство. Благодаря этой упругости эфир находится не только наверху, над земной атмосферой, но и пронизывает ее повсюду и проникает также в поры всех земных предметов, проходя через них почти беспрепятственно.

Таким образом, если с помощью пневматического насоса выкачать воздух из какого-либо сосуда, то не следует думать, что там будет пустота: эфир, проникающий через поры, мгновенно заполнит пустое пространство.

Когда заполняют ртутью достаточно длинную стеклянную трубку и переворачивают ее так, чтобы получить барометр, то кажется, что над ртутью образуется пустота, что там совсем нет воздуха, поскольку воздух не может проникнуть через стекло. Однако это пространство будет пустым только по видимости; оно, без всякого сомнения, заполнено эфиром, который туда проникает без труда. Именно этой тонкостью и упругостью эфира объясняются все удивительные электрические явления, с которыми я буду иметь честь познакомить В. В. И даже вполне вероятно, что эфир обладает значительно большей упругостью, чем воздух, и что многие явления в природе объясняются этим его свойством. Я, например, не сомневаюсь, что сжатие воздуха в порохе вызывается силой упругости эфира. И поскольку мы знаем по опыту, что сжатие воздуха в этом случае почти в тысячу раз превышает обычное и что в таком состоянии его упругость возрастает в такое же число раз, то упругость эта должна быть столь же большой и, следовательно, в тысячу раз превышать упругость обычного воздуха.¹

Итак, мы составим себе довольно верное представление об эфире, если будем рассматривать его как текучую материю, похожую на воздух, но с тем отличием, что эфир несравненно тоньше и легче и обладает в то же время значительно большей упругостью.

Поскольку ранее мы установили, что воздух благодаря именно этим свойствам способен воспринимать от звучащих тел колебания или сотрясения и распространять их во всех направлениях, в чем и состоит передача звука,

естественно предположить, что эфир также может в сходных обстоятельствах получать колебания и передавать их во все стороны, на самые большие расстояния.²

Итак, если колебания в воздухе производят звук, спрашивается, что могут дать колебания эфира? Мне кажется, что В. В. легко догадается: это свет или лучи. Таким образом, представляется очевидным, что свет по отношению к эфиру — это то же самое, что звук по отношению к воздуху. Световые лучи есть не что иное, как сотрясения, или вибрации, передаваемые эфиром, подобно тому как звук представляет собой сотрясение, или вибрации, передаваемые через воздух.

Следовательно, от Солнца к нам не приходит ничего материального, точно так же, как ничего не отделяется от колокола, когда его звон достигает наших ушей.

Если принять эту гипотезу, то уже не приходится опасаться того, что Солнце при свечении утратит хотя бы малую часть своей субстанции, как это не может произойти и со звучащим колоколом.

То, что я утверждал относительно Солнца, применимо также ко всем светящимся телам, как например пламени свечи и т. п. В. В. может, без сомнения, возразить, что эти земные источники света совершенно явно истощаются и, если их беспрестанно не питать и не поддерживать, они быстро гаснут. Это наводит на мысль, что материя Солнца равным образом должна идти на убыль и что поэтому аналогия с колоколом неуместна. Однако нужно принять во внимание, что эти источники света не только светят, но и выделяют дым, копоть и множество испарений, которые следует отличать от лучей, дающих свет. Дым и испарения приводят, несомненно, к значительной потере вещества, но ее никак нельзя отнести за счет световых лучей.³ Если бы можно было устранить дым и испарения, сопутствующие свечению, то одна лишь способность светить не вызвала бы в светящихся предметах никакой убыли вещества.

Можно, применив некоторые ухищрения, заставить светиться ртуть. В. В. доводилось это видеть. От такого свечения вещество ртути нисколько не убывает,⁴ из чего следует, что одно только излучение света не может привести к какой-либо убыли субстанции светящихся тел. Поэтому, хотя Солнце освещает весь мир своими лучами, его материя от этого нисколько не убывает.

Весь свет, излучаемый Солнцем, порождается неким чрезвычайно сильным возбуждением или колебанием самых малых его частиц. Оно передается окружающему его эфиру и оттуда распространяется во всех направлениях и на сколь угодно большие расстояния — так же, как звучащий колокол передает по воздуху подобные же колебания.

Чем внимательнее мы будем рассматривать аналогию между звучащими и светящимися телами, тем больше найдем в ней сообразности и соответствия с опытом, тогда как теория «истечения» оказывается еще более несостоятельной, коль скоро ее пытаются применить для объяснения физических явлений.⁵

14 июня 1760 г.

Письмо 20

О распространении света

Что касается распространения света через эфир, то оно происходит точно так же, как и распространение звука по воздуху.¹ И подобно тому как сотрясение, испытываемое частицами воздуха, порождает звук, сотрясение частиц эфира порождает свет или лучи света. Таким образом, *свет есть не что иное, как возбуждение, или сотрясение, частиц эфира*, который находится повсюду, благодаря своему свойству проникать во все тела. Однако эти тела различным образом видоизменяют лучи в зависимости от того, передают ли они колебания дальше или задерживают их распространение. Об этом я буду говорить далее более пространно, теперь же ограничусь распространением лучей в самом эфире, заполняющем необъятное пространство между Солнцем и нами, и вообще между всеми небесными телами. Именно там лучи распространяются совершенно свободно.

Прежде всего наш ум поражает огромная скорость лучей света, которая приблизительно в 9 000 000 раз превосходит скорость звука, проходящего, однако же, за секунду расстояние в 1000 футов.² Одной этой ужасающей скорости было бы довольно, чтобы опровергнуть теорию «истечения»; в нашей же гипотезе она является естественным следствием принципов, из которых мы исходим, в чем В. В. сможет с удовлетворением убедиться. Это те же самые принципы, на которых основано распространение звука через воздух, зависящее, с одной стороны, от плотности воздуха, с другой — от его упругости. Эта зависимость убеждает нас в том, что когда плотность воздуха уменьшается, то скорость звука от этого увеличивается, а если упругость становится больше, то скорость звука также возрастает. Следовательно, если одновременно произошло бы уменьшение плотности воздуха и увеличение его упругости, то оказалась бы налицо двойная причина для увеличения скорости звука.

Предположим, что плотность воздуха уменьшилась бы так, что сравнялась с плотностью эфира, а его упругость возросла бы до степени упругости эфира; в этом случае нас не удивило бы, что скорость звука стала во много тысяч раз больше, чем она есть на самом деле. Ибо В. В. помнит, что соответственно представлениям об эфире, которые сложились у нас с самого начала, эта субстанция должна быть несравненно менее плотной, чем воздух, и вместе с тем несравненно более упругой. Оба этих свойства в равной степени способствуют ускорению колебательных движений. Необычайная скорость звука вовсе не является чем-то, что противоречит здравому смыслу; напротив, она вполне согласуется с принципами, из которых мы исходим. И поскольку аналогия между звуком и светом вполне доказана, мы можем смело утверждать, что, если бы воздух стал таким же тонким и вместе с тем таким же упругим, как эфир, скорость звука достигла бы скорости света.

Если нас спросят, почему свет движется со столь непостижимой скоростью, мы ответим, что причиной этого является необычайная тонкость эфира, сочетающаяся с удивительной упругостью. И пока эфир сохраняет одну и ту же степень тонкости и упругости, свет должен будет распространяться с одной и той же скоростью.

Не приходится сомневаться, что эфир во всем пространстве Вселенной обладает одинаковой тонкостью и одинаковой упругостью. Ибо, если эфир в одном месте стал бы более упругим, чем в другом, он устремился бы туда и распространялся бы до тех пор, пока равновесие не восстановилось бы полностью. Лучи, испускаемые звездами, движутся столь же быстро, как и солнечные лучи, но поскольку звезды отстоят значительно дальше от Земли, чем Солнце, нужно соответственно больше времени, чтобы их лучи дошли до нас. Каким бы необычайным не казалось нам расстояние до Солнца, лучи которого, однако, достигают Земли за 8 минут, ближайшая из неподвижных звезд удалена от нас на расстояние, в 400 000 раз большее. Следовательно, световому лучу, идущему от этой звезды, требуется, чтобы достичь Земли, время, равное 8 минутам, взятым 400 000 раз, что составляет 533 333 часа, или 2222 дня, или приблизительно шесть лет.³

Итак, когда В. В. видит ночью неподвижную звезду, даже самую яркую, которая, по-видимому, находится ближе к нам, чем другие, то глаза В. В. воспринимают свет лучей, начавших свой путь от этой звезды шесть лет тому назад. Столь долгое время понадобилось им, чтобы дойти до нас.

Если бы Богу было угодно сотворить теперь, на том же расстоянии от Земли, новую неподвижную звезду, то мы увидели бы ее только через шесть лет, так как ее лучи не могли бы дойти до нас за меньший срок. И если бы при сотворении мира звезды были созданы примерно в то же время, что и Адам, то он смог бы их увидеть не раньше, чем по прошествии шести лет, причем только самые близкие; что же касается наиболее отдаленных, то ему пришлось бы ждать значительно больше времени, чтобы их обнаружить.

Итак, если бы Бог в это же самое время сотворил звезды, в тысячу раз более удаленные от нас, то сколь бы они ни были яркими, мы не увидели бы их по сей день, так как еще не прошло 6000 лет со времени сотворения мира.

Первый проповедник Брауншвейгского двора,⁴ г-н Иерусалем,⁵ прекрасно выразил эту мысль в одной из своих проповедей, где мы находим следующие слова: «Вознеситесь мыслью от сей Земли, на которой вы живете, к тем небесным светилам, которые находятся над вами; пробегите мысленно пространство от самых отдаленных светил, доступных Вашим взорам, до тех, чей свет, может быть, от самого их сотворения и по сей день еще не дошел до нас. Необъятность Царства Божия позволяет нам представить себе подобное явление (Слово о Небе и о вечном блаженстве)».

Я уверен, что В. В. почерпнет в этих словах более глубокое поучение, чем все слушатели проповеди г-на Иерусалема, для которых эта возвышенная мысль, по-видимому, была непостижимой.

Я надеюсь, что это рассуждение вызовет у В. В. желание всесторонне ознакомиться с истинной теорией света, из которой вытекает теория цветовых ощущений и всех других зрительных явлений.

17 июня 1760 г.

Письмо 21

Отступление о протяженности мира, затем о природе Солнца и его лучей

То, что я имел честь сообщить В. В. относительно времени, требуемого лучам звезд, для того чтобы дойти до нас, вполне может дать нам представление о размерах и величине Вселенной. Скорость звука, проходящего за одну секунду расстояние в 1000 футов, дает нам начальную меру, из которой мы можем исходить, и эта скорость почти в 200 раз превосходит скорость быстро идущего человека. Скорость световых лучей еще в 900 000 раз больше скорости звука; иными словами, эти лучи проходят за секунду расстояние в 900 миллионов футов или 37 500 немецких миль.¹ Какая непостижимая скорость! И между тем ближайшая к нам неподвижная звезда находится так далеко, что ее лучи, несмотря на эту непостижимую скорость, доходят до нас только по прошествии шести лет. И если бы было возможно передать на Землю какой-либо громкий звук, подобный грохоту пушки, раздавшийся на этой звезде, то прошло бы 5 400 000 лет, прежде чем мы смогли бы услышать этот звук. Это касается только самых ярких звезд, которые, по-видимому, ближе всего к нам. Вполне вероятно, что самые малые звезды удалены от нас на расстояние, превышающее упомянутое в десять и более раз. Пройдет, следовательно, целое столетие, пока лучи этих звезд смогут достигнуть Земли. Какое же это невообразимое расстояние, которое сможет быть преодолено только за сотню лет, при скорости, равной 37 500 немецким милям в секунду!

Поэтому если бы в наши дни произошло исчезновение или только затмение подобной звезды, то мы все еще продолжали бы ее видеть в течение последующих 100 лет, ибо последние лучи, вышедшие из этой звезды, дошли бы до нас только по прошествии этого срока.

Обычно люди имеют весьма ограниченные представления об этом мире, и те, кто считают себя свободомыслящими, рассматривают его как нечто мало-значительное, возникшее по чистой случайности и едва заслуживающее их внимания. В. В. согласится, должно быть, что эти люди хоть и считают себя свободомыслящими, по сути дела обладают весьма ограниченным умом, и В. В. тем скорее проникнется глубочайшим благоговением к Творцу Вселенной, могущество которого распространяется на столь обширное пространство, где все подчинено его неограниченной власти.²

Каково же должно быть наше восхищение, когда мы убедимся, что все эти огромные небесные тела расположены во Вселенной с чрезвычайной мудростью. И чем дальше мы продвигаемся в познании Вселенной (хотя это познание остается еще крайне несовершенным), тем больше мы находим причин восхищаться порядком и совершенством, которые там царят. По сравнению со всеми этими творениями, вызывающими у нас беспредельное восхищение, что представляет собой обитаемый нами земной шар? Поистине ничто. И между тем мы каждодневно ощущаем самые яркие свидетельства той особой заботы, которую проявляет по отношению к нам Владыка Вселенной.

Мне недостает, однако, красноречия, чтобы представить эту тему во всем ее величии, и В. В. восполнит этот недостаток собственными размышлениями обо всех этих важных вопросах. Я же возвращаюсь к рассмотрению огромных светящихся тел и особенно Солнца — этого основного источника света и тепла, которым мы наслаждаемся здесь, на Земле.

Прежде всего возникает вопрос, из чего состоит свет, который Солнце непрерывно излучает на всю Вселенную, не претерпевая при этом ни малейшего урона? Ответ не представляет труда, если принять ту гипотезу света, которую я только что обосновал, тогда как теория «истечения» не сможет ни в коем случае дать удовлетворительное решение этого вопроса.

Поскольку вся Вселенная заполнена текучей субстанцией, чрезвычайно тонкой и упругой, иными словами — эфиром, то следует предположить, что во всем веществе Солнца происходит постоянное возбуждение, которое вызывает сотрясения и вибрации каждой частицы; последние распространяются на окружающий эфир и возбуждают в нем такое же колебательное движение, которое передается затем все дальше и дальше, во всех направлениях, со скоростью, о которой я только что подробно говорил. Если вернуться к аналогии между звуком и светом, то можно уподобить Солнце колоколу, который беспрестанно звонит. Следовательно, нужно, чтобы в частицах Солнца постоянно поддерживалось это возбуждение, вызывающее в эфире то, что мы называем световыми лучами. Но трудность еще в том, чтобы объяснить, какая сила поддерживает это постоянное возбуждение частиц Солнца. Ведь мы знаем, что зажженная свеча не горит долго и скоро гаснет, если не поддержать огонь какими-либо горючими веществами.

Прежде всего следует отметить, что Солнце представляет собой массу, во много тысяч раз большую, чем вся Земля.³ Если оно когда-либо воспламенится, то пламя будет сохраняться на протяжении многих веков, прежде чем произойдет какая-либо убыль. Но, кроме того, Солнце нельзя уподоблять нашим светильникам и свечам, в которых большая часть вещества расходуется на дым и испарения, что и вызывает весьма ощутимую потерю. Что же касается Солнца, то если даже какая-либо частица его отделится в виде дыма, то она не уйдет далеко и вскоре воссоединится с массой Солнца, а поэтому реальная убыль, которая вызвала бы уменьшение вещества Солнца, не может иметь места.

Единственная вещь, которая остается нам не известной, это — сила, поддерживающая постоянное возбуждение всех частиц Солнца. В этом неведении, однако, нет ничего оскорбительного для нашего ума. И поскольку мы вынуждены признать наше невежество относительно многих других предметов, которые значительно ближе к нам, чем Солнце, то будем довольствоваться достигнутым, лишь бы только в наших рассуждениях не содержалось ничего чепехого.

21 июня 1760 г.

Письмо 22

Дальнейшие объяснения о природе самосветящихся тел и о различиях между этими телами и освещенными темными телами

Исходя из того, что Солнце представляет собой светящееся тело, от которого лучи распространяются во всех направлениях, В. В. без труда поймет причину столь удивительного феномена, каким является сотрясение или колебание всех частиц Солнца. Аналогия с колоколом поможет внести ясность в этот вопрос. Естественно, однако, что колебания, порождающие свет, будут более интенсивными и быстрыми, чем колебания, производящие звук, ибо эфир значительно тоньше воздуха. Подобно тому как слабое сотрясение не способно привести воздух в движение, достаточное, чтобы породить звук, так и колебания колокола и всех других звучащих тел будут слишком слабыми, чтобы вызвать в эфире сотрясение, порождающее свет. В. В. припомнит, что для возникновения слышимого звука потребно более 30 и менее 3000 колебаний в секунду;¹ воздух — слишком тонкая субстанция, чтобы ощутимый эффект был достигнут при числе колебаний меньше 30, а с другой стороны, плотность его слишком велика для того, чтобы он мог воспринять более 3000 колебаний. Столь высокий звук в конце концов стал бы совсем неслышным.² Так же обстоит дело и с эфиром: три тысячи колебаний в секунду, это для него недостаточно. Необходимы значительно более частые колебания, скажем, несколько тысяч за секунду, ибо только такие колебания способны воздействовать на эфир и вызвать в нем соответствующее движение. Столь быстро колебаться могут только мельчайшие частицы, которые не воспринимаются нашими органами чувств из-за своей малой величины.

Солнечный свет, следовательно, порождается крайне интенсивным и быстрым движением мельчайших частиц Солнца, из которых каждая совершает несколько тысяч колебаний за секунду. Такое же колебание является причиной возникновения света неподвижных звезд, а также всех источников света — свечей, факелов и других светильников, которые здесь на Земле заменяют нам

Солнце в ночную пору. Рассматривая пламя свечи, В. В. сможет легко убедиться, что мельчайшие его частицы охвачены сильнейшим возбуждением. Я не думаю, что моя гипотеза в этой своей части натолкнется на какое-либо противоречие, тогда как теория Ньютона требует, чтобы происходило совершенно невероятное возбуждение, способное выбрасывать мельчайшие частицы со скоростью, равной 375 000 немецких миль в секунду.

Таково предлагаемое мною объяснение природы светящихся тел или, скорее, тел самосветящихся, ибо существуют тела, которые светят, но не своим светом, как например Луна или планеты, по своей природе сходные с Землей. В самом деле, мы видим Луну, только если она освещена Солнцем, и то же самое относится ко всем земным предметам, за исключением пламени, которое светит само по себе. Что же касается других тел, называемых темными, то они становятся видимыми, только если на них падает свет от какого-либо другого предмета. В очень темную ночь или в комнате, закрытой со всех сторон так, чтобы туда ниоткуда не проникал свет, можно сколько угодно всматриваться в предметы, находящиеся в темноте, — увидеть что-либо невозможно. Но если внесут зажженную свечу, то можно увидеть не только саму свечу, но также и другие предметы, ранее невидимые. Вот к чему сводится существенное различие между телами светящимися и другими телами, которые мы называем «темными» (ранее я уже применял слово «темный», чтобы обозначить предметы, не обладающие прозрачностью; здесь речь идет приблизительно о том же, и нужно считаться с обычаем языка, употребляющего одно и то же слово, несмотря на некоторое различие понятий).

Светящиеся тела становятся видимыми благодаря их собственному свечению, им не требуется для этого посторонний источник света. Они видны ничуть не хуже, если находятся в полной темноте. Между тем предметы, которые я называю «темными», становятся видимыми только если на них падает какой-либо свет со стороны. Мы не можем увидеть эти предметы, пока они находятся в темноте. Но если только поставить их так, чтобы на них падали лучи от светящегося тела, они станут видимыми и исчезнут, как только будет удален этот посторонний источник света. Более того, нет необходимости, чтобы лучи от светящегося тела падали на эти предметы непосредственно. Другое «темное тело», если оно хорошо освещено, производит такое же действие, только более слабое. Прекрасным примером этого может служить Луна. Мы знаем, что Луна — темное тело, но когда она освещена Солнцем и мы ее видим ночью, она изливает слабый свет на все темные предметы на Земле и делает видимыми те, которые мы не смогли бы увидеть, если бы не Луна.

Днем в моей комнате, выходящей на север, куда не проникают солнечные лучи, тем не менее светло, и я вижу там все предметы. Спрашивается, почему же там светло? Прежде всего, все небо освещено Солнцем, и мы видим то, что называем небесной синевой; кроме того, стены напротив моей комнаты и другие предметы также освещаются или непосредственно Солнцем, или косвенным путем, т. е. другими освещенными темными предметами. Таким обра-

зом свет, исходящий от всех этих предметов, «темных», но освещенных, проникает в мою комнату, делает ее светлой, тем более что окна в ней высокие, широкие и удачно расположены: оконное стекло этому почти не препятствует, поскольку стекло, как я уже отмечал, является прозрачным телом, через которое свободно проникает свет.

Если я плотно закрою ставни моих окон, так что свет снаружи не сможет проникать в комнату, я окажусь в темноте, и если не принесу свечу, то не увижу ничего.

Таково существенное различие между светящимися и «темными» предметами, но между ними есть также и заметное сходство, ибо «темные» предметы, когда они освещены, отбрасывают свет на другие темные предметы, т. е. производят почти такое же действие, как и сами светящиеся тела. Объяснение этого явления весьма затрудняло до сего времени всех философов, но я льщу себя надеждой, что представлю его В. В. в удовлетворительной и ясной форме.

24 июня 1760 г.

Письмо 23

*О способе, с помощью которого
темные тела становятся нам видимы,
и изложение мнения Ньютона,
считающего причиной этого отражение лучей*

Прежде чем приступить к объяснению феномена, который делает видимыми темные тела, когда они освещены, нужно заметить, что мы видим что-либо только благодаря лучам, входящим в наши глаза. Когда какой-либо предмет становится видимым, это означает, что из каждой его точки отходят лучи, которые, попадая в глаз, как бы воспроизводят там зрительный образ этого предмета. Это — не просто догадка, сказанное может быть доказано опытным путем. Если взять глаз быка или какого-либо другого только что убитого животного и сделать видимым дно глаза, то на нем можно обнаружить изображение всех предметов, которые находятся перед глазом животного.

Таким образом, всякий раз, когда мы видим предмет, его зрительный образ формируется на дне нашего глаза благодаря действию лучей, испускаемых данным предметом и попадающих в наш глаз.

В дальнейшем я буду иметь честь представить В. В. более пространное объяснение зрительного восприятия и способа формирования образов предметов на глазном дне.¹ Теперь же ограничусь только этим общим замечанием. Итак, поскольку мы можем видеть темные предметы только когда на них падает свет, то, следовательно, имеются лучи, исходящие из всех точек этих предметов, но лучи эти существуют лишь до тех пор, пока предметы освещены. Как

только они будут перенесены в темное место, лучи исчезнут. Отсюда ясно, что эти лучи не присущи темным предметам и их источник следует искать в освещении.

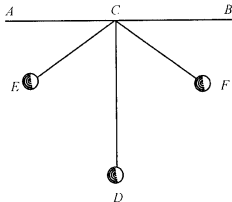
Теперь возникает важный вопрос: каким образом освещение само по себе способно вызвать свечение у темных предметов, т. е. привести их в состояние, отчасти подобное состоянию светящихся тел, излучающих свет благодаря возбуждению своих мельчайших частиц?

Великий Ньютон, так же как и другие философы, изучавшие это явление, полагал, что оно вызвано отражением. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы у В. В. составилось верное представление о том, что называют отражением.

Итак, когда одно тело ударяется о другое и отталкивается от него, то это называется *отражением*, все разновидности которого можно наблюдать на бильярде. Если бьют шаром о борт бильiardного стола, шар от него отскакивает, т. е. отражается, и это явление зовут отражением.² Здесь следует различать два случая. Предположим, что AB — борт бильiardного стола. В первом случае шар D бьют перпендикулярно борту, по направлению DC так, чтобы эта линия DC была перпендикулярна борту AB и, следовательно, углы ACD и BCD — прямыми; в этом случае шар будет отталкиваться или отражаться по той же линии DC . Во втором случае шар бьют по косо́й линии к борту, толкнув, например, шар E вдоль линии EC , образующей с бортом AC острый угол ACE , называемый *углом падения*. Тогда шар будет отражен бортом по линии CF так, что эта линия образует по другую сторону от точки соприкосновения с бортом BC угол BCF , в точности равный углу падения ACE . Этот угол BCF , под которым отражается шар, называют *углом отражения*. Из этого можно вывести общий закон, согласно которому при всех видах отражения угол падения всегда равен углу отражения.

Этот закон наблюдается всегда, когда какое-либо тело при движении встречает препятствия. Так, пушечное ядро, ударившееся в должной мере о прочную стену, которую оно не может пробить, отражается от стены в соответствии с этим законом, т. е. так, что угол отражения равен углу падения.

Этот закон распространяется также на звуки, которые часто отражаются некоторыми телами. В. В. известно, что подобное отражение звуков называется эхом. Поэтому не приходится сомневаться, что такое же отражение часто происходит у световых лучей. Предметы, которые мы видим в зеркалах, воспроизводятся там благодаря отражению лучей, и вообще, если поверхность хорошо отполирована, то она отражает падающие на нее лучи света. Следовательно, можно быть уверенным, что в бесчисленных случаях тела отражают лучи,



которые на них падают. Исходя из этого, философы пришли к убеждению, что мы видим темные предметы благодаря отраженным лучам.

Допустим, что я вижу сейчас напротив моих окон дома, освещенные Солнцем. Согласно мнению этих философов, лучи Солнца, падающие на поверхность этих домов, отражаются ею, проникают в мою комнату и позволяют мне видеть дома. Таким же образом, утверждают эти философы, мы можем видеть Луну и планеты, которые, бесспорно, представляют собой «темные» тела. Лучи Солнца, падающие на эти тела и освещающие ту их часть, которая к нему обращена, отражаются и приходят к нам оттуда, как если бы эти тела сами были светящимися.

Следовательно, согласно этому мнению, мы можем видеть Луну и планеты, только благодаря солнечным лучам, которые они отражают. И В. В., наверное, уже приходилось слышать, что свет Луны есть отражение солнечного света. Равным образом утверждают, что, когда темные предметы, освещенные Солнцем, отбрасывают свои отраженные лучи на другие темные предметы, они вновь отражаются и, падая затем на третьи предметы, отражаются там в третий раз и так далее. Однако каким бы вероятным ни казалось с первого взгляда это утверждение, при более внимательном рассмотрении в нем можно обнаружить целый ряд нелепостей, которые делают его совершенно несостоятельным. Я буду иметь честь неопровержимо доказать это В. В. и предложить затем истинное объяснение этого явления.

28 июня 1760 г.

Письмо 24

Обсуждение и опровержение этого мнения

Итак, я утверждаю, что когда мы видим темный предмет, освещенный Солнцем, то было бы совершенно ошибочным считать, что лучи отражаются этим предметом и что мы можем его видеть именно благодаря этим отраженным лучам. Пример зеркала, которое, вне всякого сомнения, отражает лучи, приводится в подтверждение этого мнения, но доказывает скорее обратное. Зеркало, бесспорно, отражает падающие на него лучи, но, когда эти отраженные лучи попадают в наши глаза, какой зрительный образ они там воссоздают? В. В. придется признать, что эти лучи дают изображение не зеркала, их отразившего, а тех предметов, из которых они вышли первоначально. Отражение приводит только к тому, что мы видим эти предметы в другом месте, причем не на поверхности зеркала, а скорее внутри его, и можно сказать, что само зеркало при этом остается для нас как бы невидимым. Когда же мы смотрим на темный предмет, освещенный Солнцем, мы не видим в нем Солнца, но только поверхность самого предмета со всеми его особенностями. Это заставляет нас признать существенное раз-

личие между лучами, отраженными зеркалом, и теми, которые делают видимыми темные тела.

Что касается зеркала, то здесь можно наблюдать и другое весьма осязаемое различие: если заменить предметы, находящиеся перед зеркалом, или только переставить их или же изменить место, откуда мы смотрим, то изображение будет иным, и лучи, отраженные зеркалом, передадут в наши глаза другие зрительные образы, соответствующие природе и расположению предметов, а также месту, где мы будем находиться. И, как я уже отмечал, эти отраженные лучи никогда не дадут нам изображения самого зеркала.¹

Если же предмет будет освещен Солнцем, или другими светящимися телами, или же телами «темными», но на которые упал свет, то как бы ни перемещать этот предмет и ни изменять место, откуда мы смотрим, изображение остается всегда одним и тем же. Мы видим постоянно тот же самый предмет и не замечаем в нем какого-либо изменения, вызванного перечисленными выше обстоятельствами. И это служит для меня еще одним доказательством того, что мы видим темные предметы отнюдь не благодаря лучам, отраженным их поверхностью.

Я предвижу здесь одно возражение, основанное на том, что шея голубя и некоторые сорта тканей меняют свой вид в зависимости от того, откуда мы на них смотрим.² Однако это нисколько не опровергает моих выводов относительно обычных темных предметов, не подверженных изменениям такого рода. Упомянутый пример доказывает только, что эти своеобразные объекты обладают особыми свойствами. Так, например, мельчайшие их частицы имеют чрезвычайно гладкую поверхность, вследствие чего и происходит подлинное отражение — помимо тех обычных явлений, которые делают видимыми все предметы. Легко понять, что подобное отражение следует отличать от того способа, которым освещаются обычные темные тела. И наконец, лучи, отраженные зеркалом, воспроизводят также цвета предметов, от которых пришли лучи, и зеркало, где происходит отражение, ничего не изменяет. Темный предмет, на который падает свет от какого-либо другого предмета, сохраняет всегда одни и те же цвета, как бы его ни осветить. И можно сказать, что каждое тело имеет свой собственный, ему присущий цвет. Это обстоятельство полностью опровергает мнение всех тех, кто считает, что мы видим темные предметы благодаря лучам, отраженным от их поверхности.³

Объединив все те соображения, которые я только что привел, В. В. без колебания признает, что вышеупомянутое мнение никоим образом не может быть принято в философии или, вернее, в физике. Я не льщу себя надеждой, что философы, чересчур стойко придерживающиеся однажды принятых взглядов, уступят этим доводам. Но физики, более тесно связанные с математиками, скорее способны изменить свое мнение перед лицом столь основательных аргументов.⁴

Пусть В. В. вспомнит еще раз то, что Цицерон сказал по этому поводу: нельзя придумать такую нелепость, которую не смог бы отстоять какой-либо

философ.⁵ И действительно, сколь странным ни казалось бы В. В. общепринятое мнение, которое я только что опроверг, его отстаивали и защищали до сих пор с большим пылом. Нельзя сказать, что несообразности и противоречия, на которые я только что указал В. В., были неизвестны сторонникам этого мнения. Сам великий Ньютон понимал их важность, но, поскольку он придерживался весьма странных представлений относительно распространения лучей, не приходится удивляться, что он мог допустить и эту абсурдную идею.

Вообще говоря, величие ума никогда не гарантирует от чепухи, с которой может быть сопряжено однажды принятое мнение. Но если предположение, что темные тела становятся видимыми благодаря отраженным лучам, — ложно, говорят его последователи, то каково же истинное объяснение этого явления? Им даже кажется, что невозможно придумать другое объяснение. Впрочем, философу всегда трудно и унижительно признать свое невежество по какому-либо вопросу. Лучше отстаивать самые абсурдные взгляды, тем более если владеешь умением излагать их затемненным, никому не понятным языком. Ибо тогда толпа превознесет еще более ученых, воображая, что все эти темные места им совершенно ясны. Во всяком случае, всегда подозрительно, когда ученые хвалятся знаниями столь возвышенными, что их нельзя сделать доступными для других. Я надеюсь объяснить интересующее нас явление так, что В. В. легко сможет все понять.⁶

1 июля 1760 г.

Письмо 25

Другое объяснение способа, с помощью которого освещенные темные тела становятся нам видимы

Рассмотренные мною в предыдущем письме явления, относящиеся к темным предметам, неопровержимо доказывают, что мы видим освещенные темные предметы не благодаря лучам, отраженным от их поверхности, но потому, что мельчайшие частицы их поверхности находятся в колебательном движении, подобном движению частиц светящихся тел. Однако различие здесь в том, что в случае «темных» предметов колебательное движение далеко не так интенсивно, как в телах самосветящихся, ибо темное тело, как бы оно ни было освещено, не оказывает на глаз столь же сильного воздействия, как светящиеся тела.

Поскольку нам видны сами темные тела, а вовсе не изображения светящихся тел, излучающих на них свет (что имело бы место, если бы мы видели отражения светящихся тел от поверхности темных предметов), то это значит, что лучи, благодаря которым мы их видим, свойственны самим этим телам и яв-

ляются их неотъемлемой принадлежностью, подобно тому как лучи светящихся тел принадлежат этим последним.

Итак, пока темное тело освещено, мельчайшие частицы его поверхности находятся в движении, способном вызвать в эфире колебания, необходимые для образования лучей и возникновения в наших глазах образа предмета, породившего эти лучи. Для этого нужно, чтобы из каждой точки поверхности лучи распространялись во всех направлениях; это с очевидностью подтверждается опытом. Ибо, с какой бы стороны мы ни смотрели на темное тело, мы видим каждую его точку; откуда следует, что каждая точка испускает лучи во всех направлениях. Эта особенность существенно отличает такие лучи от отраженных лучей, направление которых всегда определяется направлением падающих лучей; и если последние падали бы только из одного места, например от Солнца, то отраженные лучи следовали бы лишь по одному направлению.

Мы должны поэтому признать, что, как только темное тело освещается, мельчайшие частицы его поверхности приходят в некое возбуждение, порождающее лучи, иными словами, имеет место явление, описанное мною выше на примере самосветящихся тел. Это возбуждение, или колебательное движение, будет тем сильнее, чем ярче свет. Таким образом, предмет, выставленный на Солнце, будет испытывать значительно более сильные колебания, чем тот же предмет, находящийся в комнате при дневном свете или же ночью, освещенный свечой или только Луной. В первом случае его изображение на дне глаза будет более ярким, чем в других случаях, и тем более чем при лунном освещении, которое едва позволит различить или прочесть слова, написанные крупным почерком. Если же темный предмет перенести в темную комнату или же в ночную тьму, то мы уж не увидим больше ничего, и это неопровержимо доказывает, что возбуждение его частиц полностью прекратилось и они находятся в покое.

Такова, следовательно, природа темных предметов: их частицы сами по себе находятся в покое или, во всяком случае, не испытывают такого движения, которое способно породить свет, т. е. лучи. Но этим же частицам присуще особое свойство: когда они освещены или когда на них падают лучи света, они сразу начинают испытывать некое сотрясение, или колебание, которое вызывает лучи, причем колебание будет тем сильнее, чем ярче свет, отбрасываемый на эти предметы.

Итак, пока темное тело освещено, оно пребывает в таком же состоянии, как и светящиеся тела, поскольку его мельчайшие частицы испытывают такое же возбуждение, порождающее лучи в эфире. Но различие в том, что в светящихся телах это возбуждение существует само по себе, т. е. поддерживается присущей им внутренней силой, тогда как в темных предметах оно носит вторичный характер, ибо вызвано падающим на них светом и поддерживается посторонней силой, источник которой находится не в самом предмете, а в освещении.¹ Это объяснение приложимо ко всем явлениям и не содержит каких-либо несообразностей, подобных тем, которые принудили нас отказать-

ся от другого объяснения, основанного на принципе отражения. Всякий, кто захочет взвесить все эти обстоятельства, с нами согласится.

Однако остается еще одно серьезное затруднение: требуется объяснить, почему достаточно всего лишь осветить темный предмет, чтобы вызвать возбуждение мельчайших его частиц, причем это возбуждение останется всегда более или менее одинаковым, каким бы различным ни было освещение.

Я признаюсь, что если бы нельзя было ответить на этот вопрос, то это было бы большим недостатком моей гипотезы, хотя и не могло бы ее опровергнуть, ибо в ней нет ничего противного разуму. Единственное обстоятельство, которое оставалось бы мне неизвестным, — а именно, каким образом освещение вызывает колебания мельчайших частиц темных предметов, — свидетельствовало бы только о несовершенстве моей гипотезы. Если только не сумеют доказать, что освещение абсолютно не способно вызвать такой эффект, моя идея будет иметь право на существование. Однако я смогу восполнить и этот недостаток своей гипотезы и показать В. В. со всей ясностью, каким образом освещение вызывает колебания мельчайших частиц предметов.

5 июля 1760 г.

Письмо 26

Продолжение этого объяснения

Я обещал В. В. объяснить, каким образом свет, падающий на темный предмет, вызывает колебание его мельчайших частиц и побуждает их испускать световые лучи, которые делают этот предмет видимым.

Аналогия между звуком и светом, которые отличаются друг от друга только количественно (ибо свет по отношению к эфиру — это то же самое, что звук по отношению к воздуху), эта аналогия, говорю я, позволит мне выполнить мое обещание.¹

Светящиеся тела можно сравнить с музыкальными инструментами, издающими звуки. В данном случае не имеет значения, звучат ли они под действием внутренних сил, заключенных в них самих, или оттого, что подверглись какому-то внешнему воздействию. Для моего замысла достанет того, что они звучат, т. е. издают какие-то звуки. Итак, темные предметы, если они не освещены, следует уподобить музыкальным инструментам, когда на них не играют, или же натянутым струнам, находящимся в покое, т. е. не издающим никакого звука.

Теперь если при рассмотрении нашего вопроса мы обратимся от света к звуку, то вопрос сведется к следующему: может ли натянутая струна, находящаяся в покое, но в окружении звучащих музыкальных инструментов, воспринять от них какое-либо колебание и начать звучать,² хотя до нее никто на самом деле не дотрагивался? Опыт нам показывает, что такое явление действительно имеет место.

Если В. В. возьмет на себя труд посмотреть на натянутую струну — в концерте или просто во время игры различных музыкальных инструментов, то заметит, что эта струна начнет дрожать (хотя ее и не касались) и издаст такой же звук, как если бы ее задели. Этот опыт удастся еще лучше, если инструменты издадут тот же звук, на который настроена струна. Пусть В. В. посмотрит внимательно на струны клавесина, на котором не играют, когда рядом скрипка издает сильный звук, например *a*; В. В. тогда увидит, что струна клавесина, настроенная на тот же звук, начнет дрожать довольно ощутимым образом и даже звенеть, хотя к ней не прикасались. И некоторые другие струны также начнут колебаться, причем именно те, которые образуют с издаваемым звуком октаву или квинту, а иногда и терцию, при условии, что инструмент надлежащим образом настроен. Это явление очень хорошо известно музыкантам, и Рамо,³ великий композитор Франции, положил его в основу своего учения о гармонии. Он утверждает, что октавы, квинты и терции должны быть признаны консонансами на том основании, что струна приводится в колебание одним только звуком другой струны, либо подобным звуку, издаваемому первой струной, либо составляющим с этим последним интервал октавы, квинты или терции. Однако нужно признать, что принципы гармонии устанавливаются благодаря простым соотношениям между звуками столь естественно, что не требуют какого-либо нового доказательства. Феномен, о котором я говорю, следует скорее считать естественным следствием принципов гармонии.

Чтобы это стало более ясным, рассмотрим две струны, настроенные на один и тот же звук; если ударить по одной, то другая сама собой придет в движение и начнет звучать. Причина этого явления ясна: подобно тому как вибрирующая струна передает воздуху то колебание, которое производит сама, так и воздух, получивший это колебание, сообщает его струне, при условии что последняя соответственно настроена и способна производить такие же колебания. Приведенный в движение воздух каждым своим колебанием слегка ударяет по струне и заставляет ее дрожать; многократное повторение ударов с каждой вибрацией вызывает все более ощутимое сотрясение струны, ибо колебания, на которые она настроена, совпадают с колебаниями воздуха. Если же число колебаний воздуха будет в два или три раза меньшим или будет находиться в каком-нибудь весьма простом соотношении с числом колебаний, на которое настроена струна, то последняя не получит нового толчка при каждой вибрации, как в предыдущем случае, а только при каждой второй, третьей, четвертой и т. д.; сотрясение ее будет непрестанно возрастать, но не в такой сильной степени, как в первом случае. Однако если звук в воздухе не состоит в каком-либо простом соотношении со звуком, на который настроена струна, то движение воздуха не окажет на струну никакого воздействия. Ибо, когда колебания струны (если бы они действительно имели место) не совпадают с колебаниями воздуха, последующие толчки, исходящие от воздуха, уничтожают в большинстве случаев действие, которое могли произвести более резкие толчки. Опыт подтверждает это весьма убедительным образом.

Итак, для того чтобы заставить струну дрожать только под воздействием другого звука и получить при этом ощутимый эффект, необходимо, чтобы звук, переносимый воздухом, точно соответствовал звуку, на который настроена струна. Другие звуки, образующие со звуком струны консонанс, хотя и могут вызвать аналогичный эффект, но менее заметный, тогда как диссонансы не произведут никакого эффекта.

Это относится не только к струнам, но также и ко всем звучащим телам. Колокол начнет звучать только под воздействием звона другого колокола, который с ним гармонирует, иными словами, издает звук либо подобный звуку первого, либо образующий с ним октаву, квинту или терцию.

Прекрасным примером может служить известный из истории случай с бокалами. Некто мог разбивать бокалы одним своим криком. Когда ему подносили бокал, он сперва ударял по нему, чтобы определить его звучание; после этого он издавал крик на той же ноте и бокал начинал дрожать. Тогда он принимался кричать изо всех сил и все на той же ноте; сотрясение бокала становилось столь сильным, что он разлетался на мелкие осколки.

Итак, не подлежит сомнению и подтверждается опытом, что в струне и в любом другом звучащем теле можно вызвать колебания только одним консонирующим звуком.

Подобное же свойство присуще и темным предметам, частицы которых начинают колебаться под действием одного только освещения.

Таков был вопрос, который я задался целью разрешить. В следующем письме я дам более подробное объяснение.

8 июля 1760 г.

Письмо 27

Конец этого объяснения о яркости и цвете освещенных темных тел

После моего объяснения В. В. уже не удивится, что достаточно осветить предмет, чтобы мельчайшие его частицы восприняли колебательное движение,¹ подобное тому, которое возбуждает частицы светящихся тел и способствует зарождению лучей, делающих эти тела видимыми.

Таким образом, серьезное препятствие, которое, как казалось, стоит на моем пути при объяснении того, что темные предметы могут стать видимыми, к счастью, устранено. Что же касается другой гипотезы, основанной на отражении лучей, то сопутствующие ей трудности еще более возрастают, коль скоро ее пытаются применить для объяснения известных явлений.

Итак, можно считать вполне доказанным, что у всех видимых нами предметов мельчайшие частицы поверхности испытывают некие колебания, сход-

ные с колебаниями струны, которую тропули щипком, но несравненно более сильные и частые. Такие колебания могут быть вызваны либо внутренней силой, присущей, например, самосветящимся телам, либо лучами света, падающими на эти тела, иными словами, освещением, как это и происходит с темными предметами.

Следовательно, ошибочно мнение, что Луна, будучи темным телом, отражает лучи Солнца и что именно благодаря этому отраженному свету мы, как принято думать, можем ее видеть. На самом деле лучи Солнца, падая на поверхность Луны, вызывают колебания ее частиц, в результате чего возникают лунные лучи, которые проникают в наши глаза и воспроизводят там изображение Луны. То же можно сказать и о планетах, и о других темных телах.

Колебание, испытываемое мельчайшими частицами темных предметов в то время, когда на них падает свет, длится не долее, чем вызвавшее его освещение. И как только темный предмет перестает быть освещенным, мы больше его не видим.

Однако может ли случиться так, что подобное колебание, полученное однажды мельчайшими частицами темного предмета, сохранится еще некоторое время, как это часто происходит со струной, которая продолжает довольно долго дрожать после того, как по ней ударили? Я не отрицаю, что такой случай может иметь место. Я даже уверен, что такого рода явления действительно происходят в веществах, представленных В. В. нашим г-ном Маргграфом: эти вещества, если их осветить, а затем перенести в темную комнату, продолжают еще некоторое время светиться.² Однако это случай из ряда вон выходящий; во всех других предметах колебание мельчайших частиц прекращается, едва только исчезнет свет, вызвавший это колебание.

Это объяснение, которое до сего момента представлялось вполне доказательным, приводит меня к еще более важным рассуждениям. Прежде всего не приходится сомневаться, что между мельчайшими частицами темных тел существует чрезвычайно большое различие, которое зависит от природы самих тел. Одни из них будут более восприимчивы к колебаниям, другие — менее, а некоторые даже совсем не способны их воспринимать. Такое различие совершенно наглядно проявляется во всех телах. Так, тело, частицы которого легко поддаются воздействию падающих на него лучей, кажется нам блестящим; наоборот, другое тело, в котором лучи не вызывают почти никакого колебательного движения, покажется нам совершенно темным. В. В. всегда удастся обнаружить большое различие между несколькими предметами, одинаковым образом освещенными, ибо некоторые из них будут более светлыми и блестящими, чем другие. Но кроме того, между мельчайшими частицами темных тел существует и другое заметное различие, а именно в числе колебаний, производимых каждой из них в единицу времени. Я уже указывал выше, что частота колебаний должна быть всегда очень высокой и что тонкость субстанции эфира требует нескольких тысяч ко-

лебаний в секунду. Однако разнообразие может быть беспредельным; если, например, некоторые частицы дают 10 000 колебаний в секунду, а другие в то же время — 11 000, 12 000, 13 000 и т. д., в зависимости от размеров натяжения и упругости каждой из них. Аналогичным образом в музыкальных струнах число колебаний, производимых в секунду, может изменяться до бесконечности; именно из этого я вывел различие между звуками высокими и низкими, резкими и глухими.

Поскольку это различие имеет существенное значение для звуков и воздействует на наш слух особым образом, то именно оно лежит в основе всей музыкальной гармонии; поэтому не приходится сомневаться, что подобное же различие в частоте колебаний световых лучей производит определенный эффект и вызывает существенные изменения в зрительном ощущении. Если, например, одна частица производит 10 000 колебаний в секунду и испускает соответствующие лучи, то последние, входя в глаз, будут ударять дно глаза или нервы, которые там находятся, 10 000 раз в секунду; и это воздействие, а также связанное с ним ощущение должны существенно отличаться от тех, которые могла бы вызвать другая частица, производящая больше или меньше колебаний в секунду.

Различие в зрительном ощущении будет подобно тому, которое воспринимается ухом, когда оно слышит низкие или высокие звуки.

В. В. будет любопытно узнать, к чему сводится это различие в зрительном ощущении и есть ли возможность различать предметы, частицы которых испытывают большее или меньшее число колебаний в секунду? Здесь я имею честь сообщить В. В., что именно разнообразие красок обусловлено таким различием. По отношению к зрению цвета представляют собой то же самое, что высокие или низкие звуки по отношению к слуху. И это очень важный вопрос, решение которого представилось само собой, хотя мы его и не искали. Во все времена вопрос о природе цветов не давал покоя ученым. Некоторые считали, что это — своего рода видоизменение света, о котором мы совершенно ничего не знаем.

Декарт утверждает, что все цвета суть не что иное, как некое смешение света и темноты. Ньютон ищет причину этого явления в солнечных лучах, рассматриваемых им как реальное истечение материи; он полагает, что вещество этих лучей может быть более тонким или менее, и исходя из этого устанавливает следующий ряд цветов: красный, желтый, зеленый, синий и фиолетовый. Поскольку сама эта теория оказалась несостоятельной, то все, что до сих пор говорили о цветах, только доказывает наше полное неведение относительно их природы.

Теперь В. В. без труда поймет, что природа каждого цвета зависит от числа колебаний частиц, производящих лучи данного цвета, в единицу времени.

12 июля 1760 г.

Письмо 28

О природе цветов в особенности

Незнание истинной природы цвета приводило во все времена к серьезным разногласиям среди ученых; каждый старался блеснуть, высказывая свои особые соображения по этому вопросу. Мнение, что цвета являются свойством, заключенным в самих предметах, казалось им чересчур обыденным и недостойным философа, который всегда должен возвышаться над толпой. Поскольку крестьянин считает, что один предмет — красный, другой — синий или зеленый, то философ сможет отличиться, только если будет утверждать обратное; поэтому-то он говорит, что цвета представляют собой нечто нематериальное и что в предметах не содержится ничего, относящегося к цвету.

Последователи Ньютона утверждают, что цвет зависит исключительно от природы лучей, которые они различают согласно их цвету: красные, желтые, зеленые, синие и фиолетовые. Они говорят, что предмет кажется нам того или иного цвета, если он отражает лучи соответствующей разновидности. Другие, которым это мнение кажется слишком примитивным, утверждают, что цвета существуют только в нашем ощущении. Это — наилучший способ скрыть свое невежество, ибо в противном случае простые люди смогли бы подумать, что ученый понимает природу цветов не лучше, чем они. Но в настоящее время если послушать, что говорят ученые, то можно подумать, что они являются обладателями глубочайших тайн, хотя на самом деле они знают не больше крестьянина, а может быть, еще меньше.¹

В. В. без труда поймет, что все эти мнимые тонкости на самом деле не что иное, как пустые словопроения.

Каждый простой цвет (в отличие от сложных цветов) зависит от некоего числа колебаний, производимых в единицу времени. Таким образом, одно число колебаний за секунду определяет красный цвет, другое число — желтый, или зеленый, или синий, или фиолетовый — иными словами, все те основные цвета, которые мы наблюдаем в радуге.

Итак, если частицы поверхности какого-то предмета расположены так, что при возбуждении производят столько колебаний, сколько требует, например, красный цвет, то я, подобно крестьянам, называю этот предмет красным и не считаю необходимым отклоняться от общепринятого способа выражения.

Далее лучи, которым присуще такое же число колебаний за секунду, могут быть также с полным правом названы красными. И наконец, когда нервы глазного дна подвергаются воздействию тех же самых лучей² и получают, если так можно выразиться, такое же число ударов в секунду, в глазу возникает ощущение красного цвета. Здесь все ясно, и я не вижу никакой необходимости прибегать к каким-то загадочным неясным фразам, которые, в сущности, ни к чему не приводят.

Аналогия между звуком и светом столь хорошо обоснована,³ что и в мельчайших деталях сохраняет свое значение. Я уже приводил в пример натянутую струну, которая начинает дрожать под воздействием каких-либо посторонних звуков. Напоминаю В. В., что именно тот звук, который соответствует звуку, издаваемому струной, когда к ней прикасаются, вызывает наиболее сильное колебание, тогда как другие звуки оказывают подобное же воздействие только в той мере, в какой они способны образовать со струной совершенное созвучие.

То же самое происходит со светом и с цветом, поскольку различные цвета соответствуют различным музыкальным звукам.⁴

Для того чтобы показать это чудесное явление, подтверждающее самым убедительным образом мою теорию, можно воспользоваться камерой-обскурой.⁵ В ставне камеры проделывают маленькое отверстие и перед ним на некотором расстоянии помещают предмет определенного цвета, например кусок красного сукна. Если этот предмет хорошо освещен, лучи от него пройдут через отверстие в темную камеру. Это будут красные лучи, поскольку всякий другой свет в камеру не допускается. Далее, если установить внутри камеры, напротив отверстия, кусок сукна того же цвета, то увидим, что он прекрасно освещен, и его красный цвет покажется нам очень ярким. Но если на том же месте будет находиться кусок зеленого сукна, то он останется темным, и мы почти не сможем различить его цвет. Когда же мы поместим вне камеры перед отверстием хорошо освещенный кусок сукна такого же зеленого цвета, то зеленый кусок внутри камеры также осветится, и его зеленый цвет покажется нам очень ярким. То же самое наблюдается, если взять любой другой цвет. Я полагаю, что нельзя требовать более убедительного доказательства моей теории.

Из всего вышеизложенного делаем вывод, что для освещения предмета определенного цвета нужно, чтобы падающие на него лучи имели такой же цвет, ибо лучи другого цвета не в состоянии привести в движение частицы этого предмета. Это подтверждается также следующим весьма известным опытом. Если зажечь в комнате винный спирт, то он загорится, как известно В. В., синим пламенем и, следовательно, будет испускать только синие лучи. Все люди, находящиеся в этой комнате, будут казаться очень бледными, а их лица, как бы они ни были нарумянены, подобными лицам умирающих. Причина этого явления ясна: синие лучи не способны порождать красный цвет,⁶ поэтому мы и видим на лицах только синеватые и очень бледные краски. Но если на ком-либо из присутствующих будет синяя одежда, то она покажется соответственно очень яркой.

Лучи Солнца, как и лучи обыкновенной свечи, освещают все предметы приблизительно одинаковым образом; отсюда можно заключить, что солнечные лучи содержат все цвета, хотя они кажутся нам желтоватыми. И действительно, если впустить в камеру-обскуру лучи всех основных цветов: красные, желтые, зеленые, синие и фиолетовые, причем в более или менее равных количествах, и затем собрать их вместе, то получится беловатый цвет. Можно провести также опыт с несколькими порошками этих цветов; если их хорошо перемешать, то смесь будет иметь беловатый цвет.

Из этого можно заключить, что белый цвет отнюдь не является простым цветом; это скорее смесь всех простых цветов, поэтому мы и видим, что белая поверхность способна воспринимать в равной мере любые цвета. Что же касается черного, то это, собственно говоря, и не цвет. Когда частицы какого-либо предмета настолько тяжеловесны, что не могут воспринять никакого колебательного движения, то предмет будет черным; или, иначе, предмет, который не испускает лучей, — черный; таким образом, отсутствие лучей дает этот цвет. И чем больше на поверхности предмета подобных частиц, не способных воспринять какое-либо колебательное движение, тем предмет кажется нам темнее и чернее.

15 июня 1760 г.

Письмо 29

О прозрачности тел, связанной с тем, что тела пропускают сквозь себя лучи

Как я уже указывал, некоторые тела, называемые прозрачными, как-то: стекло, вода и в особенности воздух, — способны пропускать световые лучи. Но именно эфир является той естественной средой, в которой образуются световые лучи, а другие прозрачные вещества обладают этим свойством лишь постольку, поскольку они содержат эфир; они так с ним смешаны, что колебания, возбуждаемые в нем светом, могут беспрепятственно распространяться дальше. Однако такое распространение нигде не происходит столь свободно, как в чистом эфире, и при этом оно всегда сопряжено с некоторыми потерями, которые тем значительнее, чем больше толщина прозрачного тела. Толщина может даже стать настолько большой, что весь свет потеряется, и тогда тело перестанет быть прозрачным. Так, например, хотя стекло — прозрачное тело, но большой кусок стекла толщиной в несколько футов уже перестанет быть прозрачным и сквозь него ничего нельзя будет увидеть. Равным образом, какой бы чистой ни была вода в реке, но там, где она глубока, невозможно увидеть дно, хотя оно прекрасно видно там, где не глубоко.

Итак, прозрачность является свойством тел, зависящим от их толщины; приписывая данное свойство стеклу, воде и т. п., следует всегда иметь в виду это ограничение, а именно что толщина этих тел не слишком велика.

Для каждого вещества имеется известная мера толщины, и если она превышена, тело перестает быть прозрачным. И наоборот, не существует таких непрозрачных тел, которые не могли бы стать прозрачными, если сделать из них тончайшую пластинку. Хотя золото непрозрачно, золотые листки тем не менее прозрачны; и если посмотреть в микроскоп, то обнаружится, что мельчайшие частицы любых предметов прозрачны.¹

Отсюда можно заключить, что все тела прозрачны, если их сделать достаточно тонкими, и наряду с этим ни одно тело не может быть прозрачным,

если толщина его слишком велика. Но обычно называют прозрачными те предметы, которые сохраняют это свойство при определенной степени толщины и утрачивают его, когда их толщина увеличивается. Что же касается эфира, то он по самой своей природе абсолютно прозрачен и протяженность никоим образом не влияет на его прозрачность.

Пусть В. В. соблаговолит вспомнить, что неподвижные звезды находятся на огромном расстоянии от Земли. Однако это не мешает их лучам доходить до нас. Хотя окружающий нас воздух и кажется совершенно прозрачным, но если бы он занимал все пространство до Луны, то утратил бы свою прозрачность, и ни один луч от Солнца и от других небесных светил не смог бы до нас дойти. Мы оказались бы во тьме египетской. Причина этого явления ясна; то же самое происходит и со звуком, сходство которого со светом подтверждается при всех обстоятельствах. Воздух — это естественная среда, через которую передается звук; однако колебания, испытываемые воздухом, способны также вызвать сотрясение частиц всех других тел, чьи внутренние частицы также приводятся в движение и передают колебание через все тела, при условии, однако, что толщина их не будет чрезмерной. Поэтому имеются тела, которые по отношению к звуку ведут себя так же, как прозрачные тела по отношению к свету: и в конечном итоге все тела обладают свойством передавать звук, если только толщина их не слишком велика. В самом деле, В. В., находясь в своей комнате, слышит почти все, что говорится в передней, хотя двери плотно закрыты. Это происходит оттого, что колебание воздуха в передней сообщается стенам и через них проникает в комнату, но при этом сила звука несколько ослабевает. Если бы убрать стены, В. В., без сомнения, удалось бы слышать все. Итак, чем стены толще, тем большую часть своей силы теряет звук, который через них проходит. Стены могут быть настолько толстыми, что мы совсем ничего не услышим из происходящего снаружи, если только это не будет страшный шум, как например пушечный выстрел.

Здесь я хотел бы сделать еще одно замечание: очень громкие звуки вполне могут проходить сквозь стены, непроницаемые для более слабых звуков. Следовательно, чтобы судить о звукопроницаемости стены, недостаточно знать ее толщину, нужно также учитывать громкость звука. Если звук очень слабый, даже весьма тонкая стена способна его задержать, хотя через нее может пройти более сильный звук.

То же самое можно сказать и о прозрачных телах, которые способны пропускать очень яркий свет, но не позволяют нам увидеть слабо светящиеся предметы. Сквозь закопченное стекло невозможно увидеть неяркие предметы, но, если смотреть через такое стекло на Солнце, оно будет видно вполне отчетливо. Именно этим способом пользуются астрономы,² чтобы наблюдать за Солнцем, которое иначе могло бы их ослепить.

Если же мы находимся в темной комнате, где в ставне проделано отверстие напротив Солнца, то как бы ни закрывать рукой это отверстие, солнечный

свет будет проходить через руку. Однако солнечный свет в значительной степени утрачивает свою яркость, когда он проходит через такой предмет, который по сравнению с другими предметами нельзя считать прозрачным. Тем не менее очень сильный свет может стать значительно менее ярким, прежде чем исчезнуть совсем, тогда как более слабый свет пропадает тотчас же. Поэтому через кусок очень толстого стекла нельзя увидеть неяркие предметы, но можно увидеть Солнце.

Эти соображения, высказанные мною по поводу прозрачных тел, приводят меня к теории преломления, о котором В. В., несомненно, уже приходилось слышать. Я попытаюсь в дальнейшем разъяснить эту теорию самым обстоятельным образом.

18 июля 1760 г.

Письмо 30

О прохождении лучей света через прозрачные среды и об их преломлении

Пока движение света происходит в одной и той же среде, будь то эфир, или воздух, или какое-либо другое прозрачное тело, он распространяется по прямым линиям, называемым лучами, ибо они расходятся из светящейся точки во всех направлениях подобно радиусам круга или шара, идущим от центра.

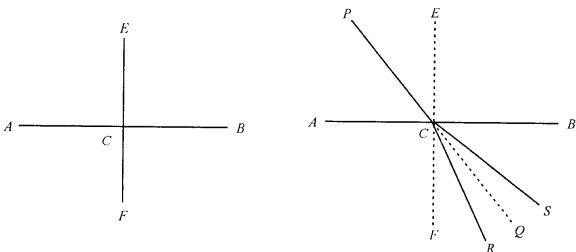
Согласно теории истечения,¹ частицы, выбрасываемые светящимися телами, движутся по прямым линиям. Подобным же образом, согласно той истинной теории, которую я имел честь изложить В. В., колебания распространяются прямолинейно, как звук колокола, который доходит до нас по прямой и тем самым позволяет нам определить, с какой стороны он доносится.

Итак, и в той и в другой теории лучи представляются прямыми линиями, пока они проходят через однородную прозрачную среду; но они могут несколько отклониться от своего направления при переходе из одной прозрачной среды в другую. Такое отклонение называется преломлением световых лучей, и знакомство с ним крайне необходимо при изучении бесчисленного множества явлений. Поэтому я и намереваюсь объяснить В. В. законы, в соответствии с которыми совершается преломление.

Прежде всего существует неизменный закон, согласно которому луч $ЕС$, когда он падает перпендикулярно на поверхность $АВ$ другой среды, продолжает далее свой путь по продолжению CF той же прямой. Он не испытывает при этом никакого отклонения, т. е. преломления.

Итак, если $ЕС$ — луч Солнца — падает перпендикулярно на поверхность $АВ$ воды или стекла, то он проникает в эту среду по тому же направлению и будет продолжать свой путь по линии CF , которая также перпендикулярна поверхности $АВ$, так что EF будет единой прямой линией. Это единственный

случай, когда преломление не имеет места. Однако всякий раз, когда луч падает на поверхность другого прозрачного тела не перпендикулярно, он не сможет продолжить свой путь по той же прямой линии; он отклонится от нее в большей или меньшей степени и подвергнется преломлению. Пусть PC будет луч, падающий косо на поверхность AB какой-то другой прозрачной среды. Проник-



нув в эту среду, он не будет продолжать свой путь по прямой CQ , являющейся продолжением прямой PC , но отклонится от нее либо по прямой CR , либо по CS . Следовательно, в точке C он испытает отклонение, называемое *преломлением*. Это преломление зависит отчасти от различия двух сред, отчасти от угла, под которым входит луч PC .

Чтобы разъяснить закон этого отклонения, нужно указать некоторые термины, применяемые теми, кто пишет на эту тему.

1) Поверхность AB , разделяющая обе среды, т. е. ту, из которой приходит луч, и ту, куда он входит, называется *преломляющей поверхностью*; 2) луч PC , который падает на эту поверхность, называется *падающим лучом*, а 3) луч CR или CS , который в другой среде следует по направлению, иному, чем CQ , называется *преломленным лучом*. Кроме того, если провести к поверхности AB перпендикулярную линию ECF , то назовем 4) *углом падения* угол PCE , образуемый падающим лучом PC с перпендикуляром EC , и 5) *углом преломления* — угол RCF или SCF , образуемый преломленным лучом CR или CS с перпендикуляром CF .

Итак, из-за преломления угол преломления не будет равен углу падения PCE : ибо если продолжить линию PC до Q , то углы PCE и FCQ будут вертикальными и, следовательно, как припомнит В. В., равны друг другу. Итак, именно угол QCF будет равен углу падения PCE , а, следовательно, угол преломления RCF или SCF будет либо меньше, либо больше его. Два случая могут здесь иметь место: в первом случае, когда преломленный луч будет CR , угол преломления BCF будет меньше угла падения PCE ; во втором случае, когда

преломленный луч будет *CS*, угол преломления *SCF* будет больше угла падения *PCE*. В первом случае говорят, что луч *CR* приближается к перпендикуляру *CF*, а в другом — что преломленный луч *CS* отклоняется или удаляется от перпендикуляра. Следовательно, нужно уяснить, когда тот или иной случай имеет место: это зависит от различия двух сред, иными словами, от того, является ли одна из них более или менее плотной, чем другая, т. е. от того, проходит ли луч сквозь одну среду с большим или меньшим трудом, чем сквозь другую. В связи с этим следует отметить, что эфир является наименее плотной средой, через которую лучи проходят без всякого труда. Даже наиболее обычные прозрачные среды по степени своей плотности располагаются в следующем порядке: воздух, вода, стекло. Таким образом, стекло плотнее воды, вода — плотнее воздуха, а воздух — плотнее эфира.

Установив это, мы должны будем только придерживаться следующих двух общих правил: 1) когда лучи переходят из среды менее плотной в другую, более плотную, преломленный луч приближается к перпендикуляру; это случай, когда падающий луч *PC*, а преломленный — *CR*; 2) когда лучи из среды более плотной переходят в менее плотную, преломленный луч удаляется от перпендикуляра, и в этом случае падающий луч будет *PC*, а преломленный — *CS*. Отклонение будет тем значительнее, чем больше различие в плотности двух сред. Так, лучи, когда они переходят из воздуха в стекло, испытывают большее преломление, чем при переходе из воздуха в воду; однако и в том и в другом случае преломленные лучи приближаются к перпендикулярной линии. Соответственно лучи, проходящие из стекла в воздух, преломляются больше, чем при переходе из воды в воздух; но в этих случаях преломленный луч отдаляется от перпендикуляра.

Наконец, нужно также отметить, что угол падения будет отличаться от угла преломления тем значительнее, чем угол падения больше, или, иными словами, чем больше падающий луч отклоняется от перпендикуляра, тем сильнее он преломляется. Здесь существует некое соотношение, которое выводится из геометрии. Но я не считаю необходимым входить в такие подробности. Сказанного мною уже достаточно для понимания того, что я буду иметь честь объяснить В. В.

22 июня 1760 г.

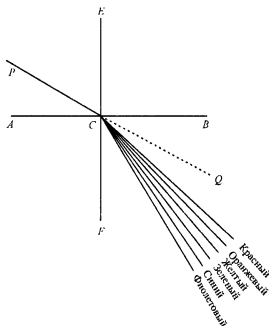
Письмо 31

О рефракции лучей разных цветов

В. В. только что убедились в том, что, когда луч света переходит наклонно из одной прозрачной среды в другую,¹ он претерпевает отклонение, называемое преломлением. Преломление зависит как от угла падения, так и от различий в свойствах прозрачных сред, что я и имел честь объяснить В. В. сколько

возможно подробно. Теперь я должен обратить внимание В. В. на то, что и различия в цвете также вызывают некоторые изменения преломления. Это, очевидно, объясняется тем, что лучам различного цвета присуще различное число колебаний в единицу времени; они отличаются друг от друга так же, как звуки различной высоты.

Так, замечено, что красные лучи испытывают наименьшее отклонение или преломление. После них следуют по порядку лучи оранжевые, желтые, зеленые, синие и фиолетовые. Таким образом, фиолетовые лучи испытывают наибольшее преломление, но, разумеется, если угол падения один и тот же и среда во всех случаях та же. Поэтому говорят, что лучи разного цвета обладают различной преломляемостью, причем красные лучи — наименее преломляемые, а фиолетовые — наиболее.



Итак, положим, что PC — луч, который переходит из воздуха в стекло и что угол падения — PCE . Тогда преломленный луч приблизится к перпендикуляру CF . Если луч — красный, преломленный луч будет C — *красный*; если оранжевый, то преломленный луч C — *оранжевый* и так же другие лучи, как это показано на рисунке. Все эти лучи отклоняются от линии CQ , являющейся продолжением PC , в сторону перпендикуляра CF ; но красный луч менее всего удаляется от CQ , иными словами, подвержен наименьшему отклонению, тогда как фиолетовый наиболее удаляется от CQ и испытывает самое большое отклонение.

Итак, если PC — луч Солнца, то он порождает одновременно все цветные лучи, изображенные на рисунке. Если бы там находился лист бумаги, то мы действительно увидели бы все эти цвета. Отсюда заключаем, что каждый луч

Солнца содержит в себе все простые цвета. То же самое происходит, когда РС — белый луч, т. е. луч, испускаемый белым предметом.

Благодаря преломлению можно увидеть, как появляются все цвета. Отсюда следует, что белый цвет — это смешение всех простых цветов, как я уже имел честь сообщить В. В.

И в самом деле, стоит собрать все цветные лучи в одной точке, и мы увидим, как снова появится белый цвет. Благодаря преломлению мы знаем, какие цвета являются подлинно простыми. Преломление позволяет нам это обнаружить со всей очевидностью. По степени преломления они располагаются так: 1) красный цвет, 2) оранжевый, 3) желтый, 4) зеленый, 5) синий, 6) фиолетовый.² Но не следует думать, что этих цветов только шесть. Ибо, поскольку природа каждого из них заключается в некоем числе колебаний, происходящих в единицу времени, ясно, что промежуточные числа также дают простые цвета. Но нам недостает слов, чтобы обозначить эти цвета. Так, между желтым и зеленым действительно располагаются промежуточные цвета, которым мы не можем дать отдельных названий.

Этот же принцип лежит в основе явления радуги. Оно объясняется тем, что лучи Солнца проходят через водяные капли, падающие в воздухе, отражаются ими и преломляются, причем преломление разлагает лучи на простые цвета. У В. В., без сомнения, был случай заметить, что в радуге эти цвета следуют друг за другом в том же порядке, а именно: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий и фиолетовый. Но помимо этого мы обнаруживаем в радуге и все промежуточные цвета — как оттенки при переходе одного цвета в другой. Если бы мы располагали большим числом названий для обозначения этих переходных ступеней, мы смогли бы назвать больше различных цветов, содержащихся в радуге от одного края до другого.

Возможно, другой народ, обладающий более богатым запасом слов, насчитывает в настоящее время больше различных цветов, чем мы;³ возможно также, что есть народы, у которых таких названий меньше, чем у нас, если, например, у них нет слова, обозначающего оранжевый цвет. Некоторые добавляют еще пурпурный цвет, расположенный с краю, за красным, между тем как другие дают пурпурному и красному одно название: «красный».

С D E F G A B

пурпурный красный оранжевый желтый зеленый синий фиолетовый

Можно сравнить эти цвета со звуками октавы, как я это здесь изобразил, поскольку цвета, так же как и звуки, могут быть выражены числами. Кажется даже, что если повысим фиолетовый, то вернемся к новому пурпурному цвету, так же как в случае звуков, поднимаясь от В, доходим до звука с, который на октаву выше С. И подобно тому как в музыке этому тону дают то же название из-за сходства этих звуков, так и в случае цвета, поднимаясь по ступеням на октаву, цвета вновь обретают свои прежние названия. Иными

словами, два цвета (подобно двум тонам, из которых один производит вдвое больше колебаний, чем другой) считаются одним цветом и имеют то же название.

Основываясь на этом принципе, отец Кастель⁴ во Франции решил изобрести некую музыку цветов. Он изготовил клавесин, в котором при ударе на каждую клавишу зритель видит кусок ткани, окрашенный в определенный цвет.

По его утверждению, такой клавесин, если играть на нем хорошо, может представить нам зрелище, весьма приятное для глаз. Он называет его зрительный клавесин; В. В., наверное, уже приходилось не раз о нем слышать.

Что же до меня, то я полагаю, что уж скорее живопись может представить для глаз то же самое, что музыка для ушей. И я сильно сомневаюсь в том, что изображение нескольких кусков сукна, окрашенных в разные цвета, могло быть столь уж приятным.⁵

27 июля 1760 г.

Письмо 32

О голубизне неба

В. В. смогли убедиться в том, что мы видим все предметы благодаря чрезвычайно быстрому колебательному движению, которое испытывают мельчайшие частицы на поверхности этих предметов, причем частота колебаний определяет их цвет. При этом безразлично, приводятся ли частицы в движение внутренней силой, как это происходит в светящихся телах, или же возбуждаются освещением, т. е. другими лучами, которые их освещают, как это бывает с темными предметами.

Итак, частота или быстрота колебаний зависит от размеров частиц и от их упругости, подобно тому как частота колебаний струны зависит от ее толщины и натяженности. Таким образом, пока частицы какого-либо тела сохраняют одну и ту же упругость, они имеют один и тот же цвет, подобно листьям растений, которые остаются зелеными, пока они свежие; как только они начинают увядать, изменение в упругости приводит к изменению цвета.

Я уже имел честь беседовать с В. В. по этому поводу; теперь же я собираюсь объяснить В. В. всем известное явление, а именно, почему дневное небо кажется нам синим.

Если ограничиться поверхностным рассмотрением этого явления, то может показаться, что там, наверху, находится некий чудесный свод, окрашенный в синий цвет, подобно небу, изображаемому художниками на плафонах. У меня нет необходимости доказывать В. В. нелепость этого предположения; по некотором размышлении мы поймем, что небо не является синим сводом, усеянным звездами, как блестящими шляпками гвоздей.¹ В. В. и без того досто-

верно известно, что звезды — это огромные тела, находящиеся на крайне далеких расстояниях от Земли и движущиеся в пространстве почти пустом, т. е. заполненном тончайшей субстанцией, называемой эфиром. Я сумею доказать В. В., что причину этой синевы неба следует искать в нашей атмосфере, поскольку она не совершенно прозрачна.²

Если бы мы могли подниматься все выше и выше над поверхностью Земли, то сначала бы мы заметили, что воздух становится все более и более разреженным; затем нам стало бы трудно дышать; наконец, воздух исчез бы совсем и мы оказались бы тогда в чистом эфире. Поэтому при подъеме на высокие горы ртуть в барометре опускается все ниже и ниже, так как плотность атмосферы становится все меньше. И тогда мы замечаем, что яркая синева неба начинает тускнеть. Если бы можно было подняться до чистого эфира, синева исчезла бы совсем; глядя вверх, мы бы ничего не увидели и небо показалось бы нам черным, как ночью. Ибо все кажется нам черным там, откуда не приходит ни один луч света.

Итак, мы имеем право спросить, почему небо кажется нам синим? Прежде всего следует согласиться, что это явление не могло бы иметь места, если бы воздух был такой же абсолютно прозрачной средой, как эфир. Тогда единственными лучами, доходящими до нас сверху, были бы лучи от звезд. Однако дневной свет настолько ярок, что слабое сияние звезд становится для нас неощутимо. Подобным же образом В. В. не увидит днем пламени горящей свечи, если последняя находится далеко, между тем как ночью то же пламя покажется очень ярким даже на значительно большем расстоянии. Из этого явствует, что причину небесной синевы следует искать в недостаточной прозрачности воздуха. Воздух содержит в большом количестве мелкие частицы, которые не совсем прозрачны; освещенные лучами Солнца, эти частицы получают от них колебательное движение, которое в свою очередь порождает новые лучи, присущие этим частицам; иными словами, эти частицы — темные и, будучи освещены, сами становятся видимыми. Цвет этих частиц — синий.³

Это и дает нам объяснение интересующего нас явления: воздух содержит в большом количестве мелкие синие частицы, или можно сказать, что мельчайшие частицы имеют слабую голубоватую окраску, становящуюся видимой только в огромной массе воздуха. Так, в комнате мы не замечаем этой синевы, но когда все слабые синие лучи из всей атмосферы проникают одновременно в наши глаза, то каким бы блеклым ни был цвет каждого из них, все вместе они создадут ощущение глубокой синевы. Это подтверждается и другим явлением, знакомым, по всей вероятности, В. В. Если смотреть на лес вблизи, он кажется очень зеленым, но по мере того как удаляешься от него, он кажется все более и более синеватым. Леса на горах Гарца,⁴ если на них смотреть из Магдебурга, кажутся нам синими, а если смотреть на них из Хальберштадта,⁵ выглядят зелеными; причина в том, что громадное воздушное пространство отделяет Магдебург от этих гор. Какими бы редкими или слабо окрашенными не были голубоватые частицы воздуха, они находятся в этом пространстве в

большом количестве; их лучи, собранные вместе, проникают в наши глаза и воспроизводят там густой синий цвет.

Мы можем наблюдать аналогичное явление во время тумана, когда в воздухе содержится множество непрозрачных частиц беловатого цвета. Если смотреть на небольшое расстояние, туман едва заметен, но на значительном расстоянии белесый цвет становится видимым и даже до такой степени густым, что мы ничего не можем сквозь него увидеть. Вода в море на большой глубине кажется зеленой, но если налить эту воду в стакан, она будет бесцветной.

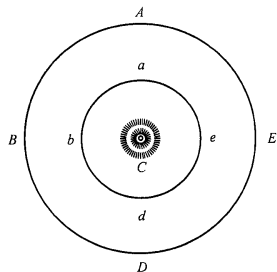
Причина здесь, очевидно, одна и та же. В этой воде содержится множество зеленых частиц, которые в малом количестве не дают никакого ощутимого эффекта. Однако на большом пространстве, как в том случае, когда мы смотрим в глубину моря, столь большое количество зеленых лучей, собранных вместе, дают ощущение интенсивного цвета.⁶

27 июля 1760 г.

Письмо 33

Об ослаблении лучей, исходящих из отдаленной светящейся точки, и об угле зрения

Пока лучи, порождаемые быстрым колебанием мельчайших частиц какого-либо предмета, движутся в одной и той же прозрачной среде, они сохраняют



одно и то же направление, т. е. распространяются во все стороны по прямым линиям. Можно представить себе эти лучи в виде радиусов круга или, скорее, шара, отходящих от центра по направлению к окружности. Именно из-за этого сходства пользуются одним и тем же наименованием,¹ хотя свет, по сути дела, состоит не из линий, а из очень быстрых колебаний, распространяющихся прямолинейно; на этом основании мы и можем представлять себе свет как прямые линии, выходящие из светящейся точки по всем направлениям.

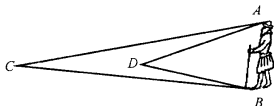
Положим, что *C* — светящаяся точка, излучающая свет во всех направлениях. Пусть *B. B.* представит себе теперь две сферы, описанные вокруг центра *C*; свет, который падает на поверхность малой сферы *abde*, будет также падать

на поверхность большой сферы $ABDE$. Из этого с необходимостью следует, что свет на поверхности большой сферы $ABDE$ будет более рассеянным и слабым, чем на поверхности малой сферы $abde$. Отсюда заключаем, что действие света должно быть тем слабее, чем больше расстояние от нас до светящейся точки.

Если предположить, что радиус большого шара вдвое превышает радиус малого, то поверхность большого шара будет вчетверо больше. Итак, поскольку одно и то же количество света распределяется как по поверхности большого, так и по поверхности малого шара, из этого следует, что свет на расстоянии, вдвое большем, будет слабее в 4 раза, на втрое большем — слабее в 9 раз, на вчетверо большем — в 16 раз и т. д. Поскольку $9 = 3 \times 3$, а $16 = 4 \times 4$, то на расстоянии, в 10 раз большем, свет будет слабее в 10×10 , т. е. в 100 раз. Применительно к солнечному свету это будет означать, что если бы Земля была удалена от Солнца на вдвое большее расстояние, то солнечный свет стал бы в четыре раза менее ярким; а если бы расстояние от нас до Солнца было больше в 100 раз, солнечный свет стал бы в 100×100 , т. е. в 10 000 раз слабее. Итак, если мы представим себе какую-нибудь неподвижную звезду, столь же огромную и столь же яркую, как Солнце, но удаленную на расстояние, в 400 000 раз превышающее расстояние от нас до Солнца, то свет ее будет в $400\,000 \times 400\,000$, т. е. в 160 000 000 000, раз слабее солнечного. Отсюда ясно, что свет одной неподвижной звезды по сравнению с солнечным светом совершенно ничтожен; по этой причине мы не видим звезд днем, ибо слабый свет всегда пропадает рядом со светом, несравненно более ярким.

То же самое можно сказать и о свечах, и о всех светящихся телах, которые дают нам тем меньше света, чем дальше они отстоят от нас. В. В., по-видимому, уже замечали, что каким бы сильным ни был источник света, если отойти от него на значительное расстояние, освещение будет недостаточным, чтобы мы могли читать книгу. С этим связано еще и другое явление, а именно: один и тот же предмет кажется нам тем меньше, чем больше он удален от нас. Великан на далеком расстоянии покажется нам таким же маленьким, как карлик вблизи. Чтобы лучше судить об этом предмете, нужно уяснить, что представляет собой угол зрения.

Итак, пусть AB изображает некий объект, например человека, и пусть глаз смотрит на него из точки C . Из этой точки проведем прямые линии AC и BC , которые изображают крайние лучи из тех, что идут от объекта к глазу.



Угол с вершиной в C называют углом зрения, под которым объект виден из C . Если смотреть на тот же объект с более близкого расстояния, из D , то угол зрения D будет, без сомнения, больше. Отсюда заключаем, что чем дальше отстоит от нас один и тот же объект, тем угол зрения меньше, а чем ближе

он к нам, тем угол зрения больше. Астрономы очень точно вычисляют углы, под которыми нам видны небесные тела; так, они нашли, что угол, под которым мы видим Солнце, несколько превышает половину градуса. Если бы расстояние от нас до Солнца было вдвое больше, угол зрения стал бы в половину меньше; и неудивительно, что в этом случае Солнце посылало бы нам вдвое меньше света. А если бы Солнце отстояло от нас на расстояние в 400 000 раз большее, угол, под которым оно было бы видно, уменьшился бы соответственно во столько же раз, и, следовательно, оно показалось бы нам не больше звезды.

Итак, нужно строго различать видимую величину объекта от его подлинной величины; величина видимая, или кажущаяся, всегда выражается через больший или меньший угол в зависимости от того, ближе или дальше отстоит от нас объект. Так, видимая, или кажущаяся, величина Солнца составляет угол, приблизительно равный половине градуса, между тем как истинные размеры Солнца многократно превосходят размеры всей Земли. Ибо диаметр Солнца, которое представляет собой шар, определяют в 172 000 немецких мили, между тем как диаметр Земли равен только 1720 милям.²

29 июля 1760 г.

Письмо 34

О том, что суждение дополняет зрение

То, что я имел честь сообщить В. В. относительно зрительных явлений, находится в ведении науки, называемой *оптикой*; оптика является одним из разделов *математики*, а также занимает очень важное место в физике. Помимо явлений цвета, природу которых я стремился разъяснить, оптика занимается также *проблемой угла зрения*. В. В., по-видимому, уже известно, что один и тот же объект может быть виден нам то под большим углом зрения, то под малым в зависимости от того, находится ли он близко от нас или далеко. Кроме того, я отмечу, что маленький объект можно увидеть под тем же углом зрения, что и большой, если первый расположен очень близко от нас, а последний — очень далеко. Но можно, например, поставить тарелку так, что она закроет целиком все Солнце, ибо тарелка величиной в полфута на расстоянии в 54 фута точно закрывает Солнце и видна под тем же углом зрения, что и Солнце. А ведь какое огромное различие между размерами тарелки и Солнца! Полная Луна видится нам почти под тем же углом зрения, что и Солнце, и, следовательно, представляется примерно таких же размеров, хотя Солнце во много раз больше Луны; но нужно принять во внимание, что Солнце отстоит от Земли на расстояние, почти в 400 раз превышающее расстояние от нас до Луны.¹

Изучение углов зрения в оптике тем более важно, что от них зависят изображения предметов, формирующихся на глазном дне. Чем больше или меньше

угол зрения, тем соответственно больше или меньше будет изображение на сетчатке глаза. Мы ведь видим предметы, находящиеся вне нас, только благодаря тому, что их изображения формируются на глазном дне; а следовательно, эти изображения и являются непосредственным объектом видения или зрительного ощущения.

Изображения, возникающие на глазном дне, позволяют нам установить только три момента. Во-первых, форма и цвет изображения указывают, что вне нас находится подобный же объект, такой же формы и такого же цвета. Во-вторых, по величине изображения мы можем судить, под каким углом зрения нам виден объект. И в-третьих, место изображения на глазном дне позволяет нам определить, в какой стороне от нас расположен наружный объект: слева или справа, сверху или снизу; иными словами, мы узнаем, с какой стороны приходят нам в глаз лучи, испускаемые объектом. К этим трем аспектам сводится все наше зрение. С помощью зрения мы можем воспринять только: 1) форму и различные цвета, 2) угол зрения или видимые размеры, 3) направление или место, где, по нашему суждению, находится объект.

Итак, зрение не дает нам никакого представления ни об истинной величине объектов, ни о расстоянии, на котором они находятся от нас. Хотя мы и воображаем зачастую, что видим размеры какого-либо объекта и расстояние, на котором он находится, на самом деле это результат не зрительного ощущения, а скорее суждения; другие органы чувств и длительный опыт позволяют нам судить, на какое расстояние удален от нас данный объект. Однако эта способность распространяется только на объекты, находящиеся достаточно близко. Для тех, которые расположены очень далеко, наше суждение не имеет силы. И если все-таки мы отважимся вынести такое суждение, то в большинстве случаев оно окажется весьма ошибочным.

Так, например, никто не может на глаз определить размеры Луны и ее расстояние от нас. И если простодушные люди считают, что величина Луны — с круг швейцарского сыра, то виновато в этом не зрение, а ошибочное суждение. И в силу такого же заблуждения они думают, что расстояние от Земли до Луны, возможно, меньше, чем расстояние отсюда до Шарлоттенбурга.²

Итак, ясно, что наши глаза, т. е. одно только зрение, не позволяют нам судить о величине предметов и об их удаленности от нас. В связи с этим можно привести весьма любопытный пример: один человек, родившийся слепым, вновь обрел зрение после операции, уже будучи в зрелом возрасте. Сначала этот человек был совершенно сбит с толку, он не различал ни величины предметов, ни расстояний до них; они все казались ему настолько близкими, что он пытался дотронуться до них рукой. Ему понадобилось много времени и длительное упражнение для того, чтобы научиться пользоваться своим зрением надлежащим образом.³ Он прошел долгий период обучения, подобный тому, который мы проходим в самом раннем детстве, причем не сохраняем о нем никакого воспоминания. Благодаря этому обучению мы узнали, что один и тот же предмет кажется нам более отчетливым, если он находится побли-

зости; отсюда путем обратного умозаключения мы сделали вывод, что предмет, если он представляется нам более четким и легко различимым, расположен близко от нас. Когда же мы видим его смутно и неотчетливо, мы решаем, что он от нас далеко.

Именно эту особенность зрения используют художники: на своих картинах они изображают очень ясно и отчетливо те предметы, которые мы должны считать близкими, и неясно те предметы, которые мы должны считать далекими, хотя и те и другие изображения находятся на равном расстоянии от нас. Им это прекрасно удается и, глядя на хорошую картину, мы как бы вынуждены представлять себе, что некоторые предметы находятся значительно дальше от нас, чем другие. Такая иллюзия не могла бы возникнуть, если бы само зрение позволяло нам определять истинную удаленность объектов и их величину.

1 августа 1760 г.

Письмо 35

Объяснение некоторых явлений, относящихся к оптике

В. В. убедились в том, что одно только зрение не позволяет нам определить ни подлинные размеры предметов, ни их удаленность от нас; и когда нам кажется, что мы видим, какой величины предмет и на какое расстояние отстоит он от нас, то на самом деле это результат нашего суждения, а не непосредственное зрительное ощущение. Следует строго различать то, что мы ощущаем нашими органами чувств, и те дополнительные представления, которые дает нам наше суждение: последнее очень часто бывает ошибочным.

Некоторые философы, которые сомневались в достоверности наших ощущений и стремились доказать ненадежность всех наших знаний (их учение называется *скептицизмом*, или *пирронизмом*),¹ смешивают свидетельства наших органов чувств с нашим суждением. Они говорят: мы видим, что Солнце таких же размеров, как чаша, хотя на самом деле оно в бесконечное число раз больше, следовательно, зрение нас обманывает, и все другие органы чувств — тоже;² во всяком случае, на них нельзя положиться; следовательно, все знания, приобретенные с помощью органов чувств, — ненадежны и, по всей вероятности, ложны; следовательно, мы ничего дополнительного не знаем.

Так рассуждают эти знаменитые философы-скептики, которые столь кичатся своим разумом, хотя нет ничего легче, как утверждать, что все недостоверно. Самый отъявленный невежда может вполне преуспеть в такой возвышенной философии. Но неверно уже то, что зрение показывает нам Солнце величиной с чашу. Зрение здесь совершенно ничего не решает, это наше суж-

дение обманывает нас. Однако, когда объекты находятся не очень далеко от нас, мы редко ошибаемся: другие органы чувств и степень четкости видимого нами объекта позволяют нам вынести довольно правильное суждение о его размерах и удаленности от нас.

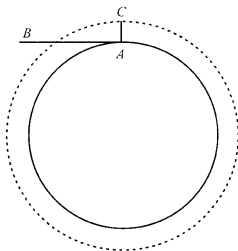
Итак, как только, основываясь на нашем суждении, мы определим расстояние, на которое отстоит от нас объект, мы тем самым получим возможность судить о его подлинных размерах, поскольку нам известно, что кажущаяся величина тем больше, чем объект ближе к нам. Отсюда следует, что, чем более удаленным полагаем мы объект, тем большие размеры мы ему приписываем, и, наоборот, чем ближе помещаем мы мысленно объект, тем меньшей величиной оцениваем его размеры.

Если случится так, что муха пролетит совсем близко от наших глаз и по невнимательности мы вообразим, что она от нас очень далеко, мы можем принять ее за орла.³ Но как только мы, если можно так выразиться, придем в себя и сообразим, что объект был поблизости, мы тотчас опознаем муху. Причина здесь в том, что угол зрения, под которым видна близко пролетающая муха, может быть столь же большим, как тот, под которым виден орел, парящий в отдалении, и изображение, рисуемое на глазном дне, будет одних и тех же размеров.

Имеется еще и другое общеизвестное явление, вызвавшее многочисленные споры среди ученых. Теперь нам будет легко его объяснить. Все полагают, что полная Луна, когда она восходит, — больше, чем когда она взошла достаточно высоко на небо, хотя угол зрения и кажущаяся величина в обоих случаях одинаковы. Так же и Солнце, когда оно восходит и заходит, кажется всем больше, чем в полдень. Какова же причина столь распространенного и столь обманчивого суждения? Без сомнения, люди полагают, что Солнце и Луна на горизонте более удалены от нас, чем когда они уже взошли. Но почему так полагают? Обычно отвечают, что когда Солнце и Луна находятся на горизонте, мы видим между ними и нами множество предметов, которые заставляют нас мысленно увеличить расстояние. С другой стороны, когда Солнце или Луна находятся высоко в небе, мы не видим между ними и нами никаких объектов и поэтому считаем, что они ближе к нам.⁴

Я не знаю, удовлетворит ли В. В. такое объяснение. На него можно возразить, что пустая комната кажется нам больше, чем комната такой же величины, но заставленная мебелью. Следовательно, наличие различных предметов между нами и объектом не всегда приводит к тому, что мы представляем себе этот объект более далеким. Я надеюсь, что следующее объяснение больше понравится В. В.

Предположим, что круг А изображает Землю, а круг, обозначенный пунктиром, — атмосферу или воздух, который окружает Землю, причем мы находимся в точке А. Если Луна будет находиться на горизонте, ее лучи придут к нам по линии ВА; но если она находится над нами, лучи пойдут по линии СА. В первом случае лучи пересекают в нашей атмосфере большое пространство ВА, а во вто-



ром случае — малое пространство CA . В. В., вероятно, вспомнит, что световые лучи, проходящие через прозрачную среду, становятся тем слабее, чем длиннее их путь. Поскольку атмосфера, или воздух, является именно такой прозрачной средой, луч BA ослабевает больше на своем пути, чем луч CA . Это позволяет сделать общий вывод, что все небесные тела кажутся значительно менее яркими, когда они находятся на горизонте, чем когда они над нами. Мы даже можем прямо смотреть на Солнце, когда оно на горизонте; но как только оно взойдет на некоторую высоту, наши глаза

уже не могут выдержать его ослепительного блеска. Отсюда я заключаю, что свет Луны на горизонте кажется нам более слабым, чем когда она находится высоко над нами.

В. В. вспомнит, что в живописи один и тот же объект кажется нам более далеким, если он слабо освещен; поэтому и Луна на горизонте⁵ должна нам казаться более далекой, чем на некоторой высоте.

Теперь вывод ясен: поскольку мы полагаем, что расстояние от нас до Луны больше, когда Луна на горизонте, то и размеры самой Луны должны соответственно увеличиться в нашем представлении. И вообще все звезды вблизи горизонта кажутся нам больше, поскольку мы полагаем в этом случае, что они более удалены от нас.

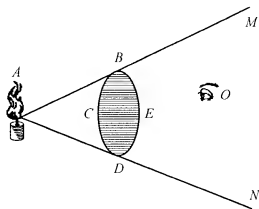
3 августа 1760 г.

Письмо 36

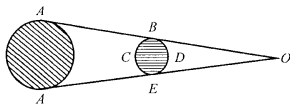
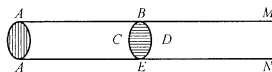
О тени

Я имел честь изложить В. В. почти все, что принято относить к науке, называемой *оптикой*. Остается выяснить только один вопрос, а именно вопрос о тени. В. В. отлично известно, что именуется тенью, и поэтому я не считаю необходимым долго останавливаться на этом вопросе. Для того чтобы возникла тень, обязательно наличие двух объектов: светящегося тела и темного непрозрачного тела, не пропускающего сквозь себя световые лучи. Итак, непрозрачное тело препятствует проникновению лучей от светящегося тела в некое пространство, находящееся позади непрозрачного темного тела; это пространство, куда не доходят световые лучи, и является тем, что называют тенью; или, иными словами, тень охватывает все те места, откуда невозможно увидеть светящееся тело, ибо непрозрачное тело задерживает его лучи.

Положим, что A — источник света, а $BCDE$ — непрозрачное темное тело. Проведем крайние лучи ABM и ADN , которые касаются краев темного тела; очевидно, что ни один луч от источника света A не может проникнуть в пространство $MBEDN$. И в каком бы месте этого пространства (как, например, в точке O) ни находился глаз, он не увидит света. Именно это пространство и является тенью непрозрачного тела. Как видно на рисунке, оно все более и более расширяется и уходит в бесконечность. Но если светящееся тело само имеет большую протяженность, тогда тень определяется несколько иным способом.



Здесь следует рассмотреть следующие три случая: первый случай, когда светящееся тело меньше, чем непрозрачное темное тело; второй случай, когда оба объекта одинаковых размеров; и третий — когда светящееся тело больше непрозрачного. Первый случай — именно тот, который мы только что рассмотрели: источник света был меньше непрозрачного тела. Второй случай изображен на прилагаемом при сем рисунке, где A — светящееся тело такой же величины, как непрозрачное тело $BCDE$. Проведем крайние лучи ABM и AEN , касающиеся этого тела: все пространство $MBEN$ будет занято тенью и, находясь в этом пространстве, невозможно будет ни откуда увидеть светящееся тело. Кроме того, видно, что линии BM и EN параллельны и что тень простирается в бесконечность, сохраняя повсюду одну и ту же ширину.



Что касается третьего случая, когда светящееся тело AA больше непрозрачного тела $BCDE$, то здесь крайние лучи, касающиеся его, — ABO и AEO сходятся в точке O ; пространство, занимаемое тенью BOE , будет ограниченным и кончается, сходя на нет. Такая фигура называется конусом, и говорят, что в этом случае тень — коническая. Только в это ограниченное пространство не может проникнуть свет и, находясь в нем, невозможно увидеть светящееся тело.

К третьему случаю относятся тени небесных тел: они значительно меньше светящегося тела, а именно Солнца, которое их освещает. Здесь мы также находим достойный повод для восхищения мудростью творца Вселенной. Ибо если Солнце было бы меньше планет, тени последних не имели бы предела

и простирались бы в бесконечность, так что громадные пространства оказались бы лишенными солнечного света. Но поскольку Солнце по своим размерам во много раз превосходит планеты, тени от этих последних занимают сравнительно небольшие пространства, в которых отсутствует солнечный свет.

Земля и Луна отбрасывают конические тени, и может случиться так, что Луна, вся или частично, окажется в тени Земли. Когда это происходит, говорят что Луна затмилась полностью или частично. В первом случае затмение называют *полным*, во втором случае — *частным*. Луна также отбрасывает свою тень, но меньшую, чем тень Земли. Тем не менее может случиться так, что тень от Луны достигнет Земли; тогда люди, лишившиеся солнечного света, станут свидетелями *солнечного затмения*.

Итак, затмение Солнца происходит потому, что Луна загораживает Солнце, все целиком или частично. Ночью мы также не видим Солнца, хотя никакого затмения нет; но ночью мы находимся в тени самой Земли, в силу чего и наступает для нас полная темнота.

До сих пор мы рассматривали только случаи, когда лучи света распространяются прямолинейно, что и составляет предмет оптики.¹ Но я уже отмечал, что световые лучи иногда отражаются, а иногда преломляются. В. В. вспомнит, что когда лучи падают на хорошо отполированную поверхность, например поверхность зеркала, то они отражаются; а если они переходят из одной прозрачной среды в другую, то они преломляются, становятся как бы сломанными. Отсюда зародились две другие науки. Та, в которой рассматриваются явления, вызванные отражением лучей, называется *катоптрикой*, а та, в которой изучают преломление лучей, или рефракцию, — *диоптрикой*.² Что же касается оптики, то предметом ее изучения служат зрительные явления, вызванные непосредственно прямыми лучами.

Я буду иметь честь вкратце изложить В. В. сущность этих двух наук — катоптрики и диоптрики. Эти науки охватывают множество явлений, наблюдаемых нами каждодневно, причину и особенности которых нам следует знать. Все, что касается зрения, бесспорно является предметом, наиболее достойным нашего внимания.

5 августа 1760 г.

Письмо 37

О катоптрике, и в частности об отражении лучей плоскими зеркалами

Катоптрика занимается оптическими явлениями, связанными с отражением света. Когда лучи падают на хорошо отполированную поверхность, они от нее отражаются таким образом, что углы с той и с другой стороны равны друг другу.

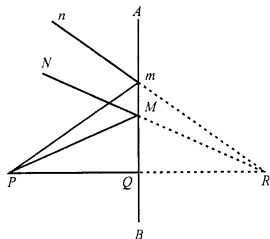
Чтобы разъяснить это надлежащим образом, предположим, что AB — поверхность обычного зеркала, а P — светящаяся точка, из которой лучи PQ , PM , Pn падают на зеркало. Пусть среди всех этих лучей PQ будет тот, который падает перпендикулярно на зеркало; в отличие от всех других он обладает свойством отражаться по той же прямой QP .

Подобным же образом на бильярде, когда толкают шар перпендикулярно к борту, он от него отскакивает и следует по тому же пути, каким пришел. Всякий же другой луч, как например PM , отражается по линии MN таким образом, что угол AMN оказывается равным углу BMP . Здесь надо заметить, что луч PM называется падающим лучом, а MN — отраженным лучом. Равным образом падающему лучу Pn будет соответствовать отраженный луч mn ; и, следовательно, благодаря отражению луч PM будет продолжен по линии MN , а луч Pn — по линии mn так, чтобы угол AMN был равен углу BMP , а угол AMN равен углу BnP . Это свойство можно словесно выразить следующим образом: угол отражения всегда равен углу падения.

Я уже имел честь обратить внимание В. В. на это замечательное свойство; теперь я намерен объяснить, какую роль оно играет в зрительных явлениях.

Прежде всего ясно, что если глаз находится в точке N , то он получит от светящейся точки P отраженный луч MN ; таким образом, луч, который вызывает зрительное ощущение, проходит по направлению MN , как если бы объект P находился где-то на линии NM ; отсюда следует, что глаз должен видеть объект P в направлении NM .

Чтобы все это стало еще более ясным, нужно прибегнуть к геометрии. В. В. с удовольствием вспомнит теоремы, на которых основывается следующее рассуждение. Продолжим перпендикулярный луч PQ по ту сторону зеркала до точки R так, чтобы отрезок QR был равен отрезку PQ ; я докажу, что если продолжить все отраженные лучи MN и mn за зеркало, то они сойдутся в этой точке. Рассматривая два треугольника PQM и RQM , отметим прежде всего, что они имеют общую сторону MQ . Далее сторона QR равна стороне PQ и, наконец, поскольку угол PQM — прямой, то смежный с ним угол RQM будет также прямым. Итак, поскольку эти два треугольника имеют две равные стороны и углы, заключенные между этими сторонами, также равны, то они будут равны друг другу, и, следовательно, угол PMQ будет равен углу RMQ . Так как угол AMN вертикальный по отношению к углу PMQ и, следовательно, равен ему, то он тем самым будет равен и углу PMQ , являющемуся углом падения; таким образом, угол AMN будет углом отражения, как этого требует природа отражения.



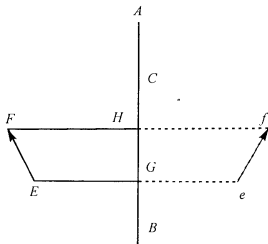
Из рисунка также видно, что если продолжить отраженный луч mn , то он тоже пройдет через точку R . Следовательно, все лучи, как те, что исходят из точки P , так и отраженные зеркалом, следуют точно по такому же пути, как если бы они шли из точки R , и по этой причине они оказывают такое же действие на глаз, как если бы объект P действительно был расположен позади зеркала в точке R . Эта точка находится на перпендикулярной линии PQR на таком же расстоянии позади зеркала, на каком находится объект P — перед зеркалом.

Теперь В. В. ясно поймет, почему мы видим в зеркале все предметы так, как если бы они находились позади него, причем на том же расстоянии, на каком они находились перед зеркалом. Таким образом, зеркало как бы переносит предметы в другое место, не изменяя их внешнего вида.

Чтобы отличать этот видимый в зеркале объект от подлинного объекта, первый называют *изображением* и говорят, что изображения, созданные отраженными лучами, находятся позади зеркала. Такое наименование позволяет лучше различать реальные объекты от их изображений, видимых в зеркалах. Изображения, которые мы видим в зеркалах, во всем подобны подлинным объектам, с одним только различием: то, что в объекте находится слева, окажется в изображении справа, и наоборот. Так, человек, который носит шпагу слева, увидит себя в зеркале со шпагой справа.

То, что я только что объяснил, позволит нам без труда определить то место позади зеркала, где будет находиться изображение того или иного объекта.

Положим, что AB — зеркало, а EF — пусть будет стрела. Проведем из точек



E и F перпендикуляры EG и FH к поверхности зеркала и продолжим их до e и f так, чтобы $EG = eG$ и $FH = fH$; получим изображение ef , которое будет равно объекту EF , поскольку четырехугольник $GefH$ во всех отношениях равен $GEFH$. Отсюда также явствует, что если даже отнять одну часть CB зеркала, так чтобы зеркалом оставалась только часть его AC , то изображение ef от этого несколько не изменится. А следовательно, если зеркало недостаточно велико для того, чтобы перпендикуляры EG и EF могли на него упасть, то следует только представить себе, что плоскость зеркала имеет продолжение, подобно тому как в

геометрии продлевают отрезки, когда хотят провести к ним перпендикуляры.

То, что я объяснил, относится только к обычным зеркалам, имеющим совершенно плоскую поверхность. Выпуклые и вогнутые зеркала производят уже другое действие.

Письмо 38

*Об отражении лучей
выпуклыми и вогнутыми зеркалами;
о зажигательных зеркалах*

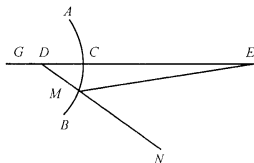
Все, относящееся к отражению лучей, сводится, как В. В. могли в этом убедиться, к двум вещам, а именно месту изображения, представляемого отраженными лучами, и соотношению между объектом и изображением.

В обычных, или плоских, зеркалах место изображения находится за зеркалом, на расстоянии, равном расстоянию до объекта, расположенного перед зеркалом, причем изображение совершенно схоже с объектом. Эти же два обстоятельства следует учитывать, когда зеркало имеет не плоскую, а выпуклую или вогнутую поверхность, ибо в этом случае изображение бывает обычно весьма деформированным.

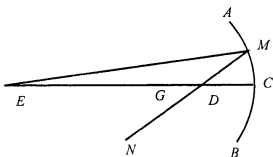
В. В., наверное, уже замечали, что, если смотреть на хорошо отполированную ложку, на ее внутреннюю, вогнутую поверхность или на наружную, выпуклую, мы видим свое изображение в сильно искаженном виде. Однако хорошо отполированная серебряная сфера довольно точно воспроизводит предметы, но в уменьшенном размере. Если же внутренняя поверхность такой сферы хорошо отполирована, то предметы там кажутся больше при условии, что они не слишком удалены, ибо те же самые предметы кажутся нам уменьшенными и перевернутыми, если их удалить от зеркала.

Нет необходимости брать для опыта целую сферу, любая часть ее поверхности производит тот же эффект. Подобные зеркала называются сферическими. Они бывают двух родов: выпуклые и вогнутые, в зависимости от того, являются ли они частью наружной или внутренней поверхности сферы. Эти зеркала изготовляют из сплава нескольких металлов, хорошо поддающегося шлифовке, тогда как плоские зеркала делают из стеклянной доски, покрытой с одной стороны составом, содержащим ртуть для того, чтобы она отражала лучи.

Я начну объяснение с выпуклых зеркал. Пусть ACB — зеркало, являющееся частью сферы, центр которой будет в точке G . Если поставить перед этим зеркалом предмет на далеком расстоянии в точке E , то его изображение появится позади зеркала в точке D , находящейся на середине радиуса сферы CG ; и это изображение будет меньше предмета во столько раз, во сколько расстояние CD меньше расстояния CE до предмета. Если приблизить предмет E к зеркалу, его изображение также приблизится. Все это можно доказать геометрическим путем.

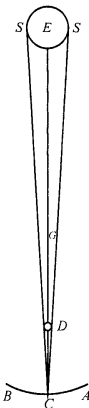


Предположим, что некий падающий луч EM отражается по линии MN , так чтобы угол BMN был равен углу CME . Таким образом, если глаз находится в точке N , то, получив отраженный луч MN , он увидит в зеркале предмет E на линии NM в точке D ; иными словами, D будет изображением предмета, находящегося в E , но уменьшенным. Столь же легко увидеть, что чем меньше сфера, частью которой является зеркало, тем меньше будет изображение.



Перехожу к вогнутым зеркалам, часто используемым для самых различных целей. Пусть ACB — зеркало, являющееся частью сферы, центр которого будет в точке G , а радиус — GC . Теперь предположим, что объект находится в E , на очень далеком расстоянии от зеркала. Его изображение появится перед зеркалом в D , посредине радиуса CG , ибо любой световой луч EM , падающий из

объекта E на зеркало в точке M , отразится от него таким образом, что пройдет через точку D . И если глаз будет находиться в N , то он увидит изображение объекта в D , но это изображение будет во столько раз меньше объекта, во сколько расстояние CD меньше расстояния CE . Когда приближают объект к зеркалу, изображение удаляется от этого последнего, а если объект будет помещен в самом центре G сферы, то и изображение будет также в G . Если приблизить объект и поместить его в точке D , то изображение удалится за точку E на бесконечное расстояние от зеркала. Но если объект находится еще ближе, между C и D , изображение окажется позади и будет казаться больше объекта. Когда смотрят в такое зеркало, находясь между D и C , то видят свое лицо увеличенным до ужасающих размеров. Все это обусловлено самой природой отражения, согласно которой угол падения EMA всегда равен углу отражения CMN .



К этому роду зеркал следует отнести зажигательные зеркала, ибо любое вогнутое зеркало может быть использовано для зажигания. Это удивительное свойство заслуживает более подробного объяснения. Пусть ACB — вогнутое зеркало, центр которого G , и пусть в качестве объекта E находится Солнце. Его отраженные лучи создадут изображение Солнца в D посредине CG . Размеры этого изображения будут определяться крайними лучами SC , SC' . Это изображение Солнца будет, следовательно, совсем небольшим. И поскольку все солнечные лучи, падающие на зеркало ACB , отражаются именно туда, в D , то они там сойдутся и сила их возрастет во столько раз, во сколько изобра-

жение D будет меньше площади зеркала. Однако лучи Солнца обладают свойством не только освещать, но и согревать; из этого следует, что в точке D должен возникнуть сильный жар, и если зеркало должных размеров, то этот жар по своей силе может превзойти жар самого яростного пламени. И в самом деле, посредством такого зеркала можно поджечь в одно мгновение любую древесину и даже расплавить любой металл. Не что иное, как изображение Солнца, оказывает столь поразительное действие.

Это изображение обычно называют очагом или фокусом зеркала. Фокус находится всегда посредине между зеркалом и его центром. Зажигательные зеркала следует отличать от зажигательных стекол, которые, по всей вероятности, хорошо известны В. В. О них я намереваюсь поговорить в следующем письме.

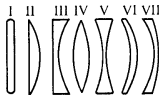
9 августа 1760 г.

Письмо 39

О диоптрике

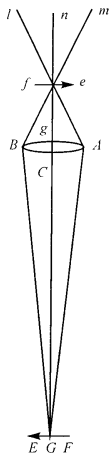
Поскольку я уже имел честь объяснить В. В. основные явления катоптрики, производимые отражением световых лучей, мне остается теперь поговорить о диоптрике, изучающей преломление лучей при переходе их через различные прозрачные среды. Световой луч следует по своему пути прямолинейно, только пока он находится в одной и той же среде. Как только он перейдет в другую прозрачную среду, он изменит свое направление в большей или меньшей степени, в зависимости от того, под каким углом он входит в эту среду. Только в одном случае луч сохраняет прямолинейное направление, а именно, когда он входит в другую среду перпендикулярно.

Диоптрика имеет дело главным образом с линзами, подобными тем, которые используются в зрительных трубках и микроскопах. Эти линзы — круглые, как диски, но у них две поверхности — все зависит от формы этих двух поверхностей, которые могут быть плоскими, выпуклыми или вогнутыми. Как выпуклая, так и вогнутая поверхность является частью сферы, радиус которой надо знать, ибо он является в сущности мерою выпуклости и вогнутости. Имеется несколько типов этих диоптрических стекол. Стекло первого типа (I) — где обе поверхности плоские. Если вырезать круг в зеркале, получится именно такое стекло, которое воспроизводит предметы без всяких изменений. Стекло второго типа (II) имеет одну плоскую поверхность, а другую — выпуклую; такие линзы называют плоско-выпуклыми. Стекло третьего вида (III) имеет одну поверхность плоскую, а другую — вогнутую. Такие линзы называют плоско-вогнутыми. Стекла четвертого типа (IV) — это те, где обе поверхности



выпуклые, их называют двояковыпуклыми. Пятый вид стекол имеет обе поверхности вогнутые; такие линзы называют двояковогнутыми. Стекла VI и VII вида имеют одну поверхность выпуклую, а другую — вогнутую; их называют выпукло-вогнутыми, или менисками.

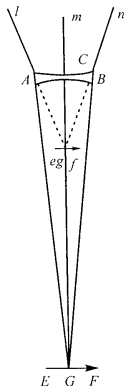
Все эти линзы можно отнести к двум категориям: в одну входят линзы, у которых преобладает выпуклость, как-то: II, IV, VI, в другую — те, у которых преобладает вогнутость, как-то: III, V, VII. Первые называются просто выпуклыми, а другие — просто вогнутыми. Линзы этих двух категорий отличаются друг от друга следующими свойствами.



Пусть AB будет выпуклая линза, поставленная перед объектом EF , расположенным от нее очень далеко; лучи GA , GC , GB от этого объекта падают на линзу и, проходя через нее, преломляются таким образом, что лучи, выходящие из точки G , вследствие преломления собираются позади линзы в точке g . То же самое произойдет с лучами, выходящими из каждой точки объекта. Вследствие этого изменения направления все преломленные лучи Al , Bm , Cn будут следовать по такому пути, как если бы объект находился в egf в перевернутом положении и был меньше во столько раз, во сколько расстояние Cg меньше расстояния CG . Можно сказать, что такая линза представляет объект EF позади себя в ef , т. е. дает то, что называется *изображением*; это изображение будет перевернутым и во столько раз меньше самого объекта, во сколько раз оно будет ближе к линзе, нежели сам объект. Отсюда ясно, что если объектом является Солнце, то изображение, появляющееся в ef , будет изображением Солнца; несмотря на свои малые размеры, оно будет настолько ярким, что на него нельзя будет смотреть, не ослепнув, ибо все лучи, которые проходят сквозь линзу, собираются в этом изображении и проявляют там в полной мере свою двоякую способность освещать и нагревать. Солнечное тепло возрастает там примерно во столько раз, во сколько поверхность линзы превосходит размеры изображения Солнца; это изображение называется *очагом*, или *фокусом*.¹ Поэтому, если линза очень большая, сила ее жара

может творить чудеса. Так, горючие материалы, помещенные в фокус такой линзы, сгорают в одно мгновение. Металлы там расплавляются и даже обращаются в прах. С помощью таких зажигательных стекол можно вызвать эффекты, превосходящие все то, что мы в состоянии сделать посредством самого сильного огня. Принцип действия здесь тот же, что и у зажигательных зеркал. И в тех и в других солнечные лучи, падающие на всю поверхность зеркала или стекла, собираются вместе на маленьком пространстве, занимаемом изображением Солнца. Единственное различие в том, что в слу-

чае зеркал они собираются благодаря отражению, а в случае линз — благодаря преломлению. Это — эффект, получаемый с помощью выпуклых линз, которые в середине толще, чем по краям, таких, какие я изобразил на рисунке под номерами II, IV и VI. Что касается линз III, V и VII, которые толще по краям, чем посередине, и называются просто вогнутыми, то они оказывают противоположное действие. Пусть ACB будет именно такой линзой. Если поместить на большом расстоянии объект EGF , то лучи GA , GC , GB , выходящие из точки G , пройдя через линзу, придут в l , m и n преломленными таким образом, как если бы они исходили из точки g . При этом глаз, находящийся позади линзы, а именно, в точке t , увидит объект так, как если бы он находился в egf в прямом положении, но он будет меньше во столько раз, во сколько расстояние CG превосходит расстояние Cg .



Итак, в то время как выпуклые линзы дают изображение удаленных от них объектов позади себя, вогнутые линзы дают такое изображение впереди себя; выпуклые представляют его в перевернутом положении, а вогнутые — в прямом.² Но и в том и в другом случае изображение уменьшено во столько раз, во сколько раз оно ближе к линзе, чем объект. Именно это свойство линз лежит в основе устройства всех микроскопов, телескопов и зрительных труб.

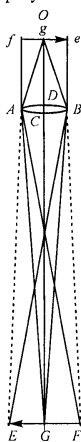
11 августа 1760 г.

Письмо 40

Продолжение той же темы, в особенности о зажигательных стеклах и об их фокусе

Рассмотрение выпуклых линз приводит меня еще к некоторым соображениям, которые я буду иметь честь представить В. В. Я имею в виду выпуклые линзы, которые толще посередине, чем по краям, будь то линзы с двумя выпуклыми поверхностями или же те, у которых одна поверхность плоская, а другая выпуклая, но так, что выпуклость превосходит вогнутость и толщина в середине больше, чем по краям. Кроме того, предполагается, что поверхности этих линз выточены на шарообразной или, вернее, сферической болванке.

Эти линзы обладают прежде всего тем свойством, что если направить их на Солнце, то они образуют позади себя фокус, который является изображением Солнца, способным светить и жечь. Причина этого в том, что все лучи, выходящие из какой-либо точки на Солнце, преломившись в линзе, соединяются в одной точке. Это происходит и тогда, когда перед такой линзой находится какой-либо другой объект; всегда мы видим вместо самого объекта его изображение. Все это станет более ясным, если посмотреть на следующий рисунок.



Пусть $ABCD$ будет выпуклой линзой, перед которой находится объект EGF ; достаточно рассмотреть три его точки: E , G , F . Лучи, падающие на линзу из точки E , заключены в пространстве AEB ; после преломления все они собираются в пространстве AeB и сходятся в точке e . Таким же образом лучи из точки G , падающие на линзу, заполняют пространство AGB , а после преломления все соберутся в пространстве AgB и сойдутся в точке g . И наконец, лучи из точки F , падающие на линзу внутри угла AFB , преломляются таким образом, что сойдутся в точке f . Мы получим изображение egf позади линзы в перевернутом положении; глаз, находящийся позади изображения, например в точке O , подвергнется такому же воздействию, как если бы объект находился в egf в перевернутом положении и был во столько раз меньше, во сколько расстояние Dg меньше расстояния CG .

Чтобы судить о месте, куда попадет изображение egf , следует припомнить во внимание как свойства линзы, так и расстояние, на которое отстоит объект. Что касается первого обстоятельства, то нужно учесть, что, чем больше выпуклость линзы, т. е. чем она толще в середине CD по сравнению с краями, тем изображение будет ближе к линзе. По поводу второго обстоятельства надо заметить, что если приблизить объект EF к линзе, то изображение ef отдалится от нее, и наоборот; изображение может приблизиться к линзе, только если объект удален от нее на значительное расстояние. Оно находится тогда на таком же расстоянии, как и изображение Солнца, называемое фокусом линзы.

Итак, если объект будет очень далеко, то изображение его окажется в самом фокусе, и чем больше приблизить к линзе объект, тем больше отдалится от нее изображение. Все это соответствует правилу, доказанному в диоптрике; следуя этому правилу, можно всегда определить место изображения, каково бы ни было расстояние от объекта до линзы, но при условии, что известен фокус линзы или то расстояние, на котором находится изображение Солнца и где оно проявляет свою зажигающую силу. Это расстояние легко определяется опытным путем. В зависимости от этого дают соответствующие обозначения линзам: так, говорят, что такая-то линза имеет фокус на расстоянии одного дюйма, другая — одного фута, третья — десяти футов и т. д. Для длин-

ных зрительных труб требуются линзы с очень большим фокусным расстоянием; очень трудно изготовить такие линзы надлежащего качества.

Некогда я заплатил 150 экю за линзу с фокусным расстоянием 600 футов и послал ее Петербургской Академии. Я уверен, что она не бог весть какого качества, но ее хотели из-за того, что такие линзы — большая редкость.¹

Чтобы убедить В. В. в том, что изображение *egf* (на предыдущем рисунке) действительно существует, надлежит поместить в этом месте белую бумагу, частицы которой восприимчивы к различного рода колебаниям, от которых зависят цвета. Тогда все лучи, выходящие из точки *E* объекта, собравшись в точке *e*, сообщат частице бумаги колебательное движение, аналогичное тому, которое получает точка *E*, и, следовательно, в этой точке появится тот же цвет. Равным образом, точки *g* и *f* будут иметь те же цвета, что и точки *G* и *F* объекта; следовательно, мы увидим на бумаге и все другие точки объекта в их естественном цвете, что дает нам самое точное и живописное воспроизведение объекта.

Этот опыт удастся еще лучше, если воспользоваться камерой-обскурой. В отверстие ставня вставляют стекло, и тогда на белой бумаге видны все предметы, находящиеся вне камеры, причем столь отчетливо, что их можно обвести карандашом. Художники пользуются таким приспособлением, когда они рисуют пейзажи.²

13 августа 1760 г.

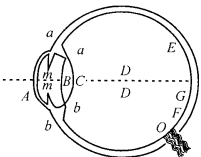
Письмо 41

О зрении и о строении глаза

Теперь я считаю возможным объяснить В. В., как именно видит глаз человека и любого животного — что следует считать самым удивительным явлением, которое смог постичь человеческий ум. Хотя еще многое нужно сделать, чтобы наше познание этого явления достигло совершенства, тем не менее и того немногого, что мы знаем, более чем достаточно, чтобы убедиться во всемогуществе и беспредельной мудрости Творца. Это поразительное явление должно побудить наш ум к самому искреннему восхищению и преклонению перед высшим существом. Мы находим в строении глаза такое совершенство, которое самый просвещенный ум никогда не сможет постичь до конца. Самый искусный мастер не в состоянии создать такого рода прибор, который обладал бы столь совершенным устройством, как наш глаз, даже если предположить, что этот мастер наделен способностью создавать любые вещества по своему усмотрению и одарен той наивысшей проницательностью, какая только может быть у человека.¹

Я не буду останавливаться здесь на анатомическом описании глаза: для моих целей достаточно отметить, что передняя оболочка *aAb* прозрачна и

называется *роговицей*; позади нее внутри находится другая оболочка *am*, *bm*, кольцеобразная, окрашенная, которую называют радужной; в середине этой оболочки имеется отверстие *mn*, т. е. зрачок, который кажется нам черным



на фоне радужной оболочки (*oder des Sterns*). За отверстием находится тело *bBCa*, подобное маленькой зажигательной линзе, совершенно прозрачное, состоящее из слоистого вещества; оно называется хрусталиком. Полость глаза позади хрусталика заполнена совершенно прозрачным студенистым веществом, именуемым «стекловидным телом». Передняя же полость между роговицей *aAb* и хрусталиком *ab* заполнена жидкостью, похожей на воду; ее называют «водянистой влагой».

Таковы четыре прозрачные среды, через которые должны пройти лучи, входящие в глаз:² 1) роговица, 2) водянистая влага между *A* и *B*, 3) хрусталик *bBCa* и 4) стекловидное тело. Эти четыре вещества имеют различную плотность: переходя из одной среды в другую, лучи каждый раз подвергаются преломлению, причем эти среды расположены так, что лучи, выходящие из одной точки какого-либо объекта, собираются внутри глаза также в одной точке и создают там изображение. Дно глаза в *EGF* покрыто беловатой тканью, предназначенной для того, чтобы на ней воспроизводилось изображение подобно тому белому фону, на котором, как я уже указывал выше, можно показывать посредством выпуклого стекла изображения объектов.

В соответствии с тем же принципом все объекты, лучи от которых поступают в глаз, воспроизводятся в своем естественном беловатом дне глаза, называемом *сетчаткой*.

Если взять бычий глаз и убрать наружные части, закрывающие сетчатку, то можно увидеть на ней изображение всех предметов, воспроизведенных с такой точностью, которой не мог бы достичь ни один художник. Чтобы увидеть объект таким, каким он является, нужно, чтобы его изображение было воспроизведено на сетчатке на дне глаза; и если, в силу какого-либо несчастного случая, некоторые части глаза повреждены или утрачивают свою прозрачность, человек становится слепым.

Однако, для того чтобы видеть предметы, недостаточно, чтобы их изображение было передано на сетчатку. Некоторые люди слепы, несмотря на то что такое воспроизведение происходит. Из этого следует, что изображения, рисуемые на сетчатке, еще не являются непосредственным объектом зрения. Зрительное восприятие происходит где-то в другом месте. Сетчатка, покрывающая дно глаза, представляет собою ткань, состоящую из тончайших нервных волокон; эти волокна сообщаются с большим нервом, называемым оптическим,³ который идет от головного мозга и входит в глаз в точке *O*. Световые

лучи, создающие изображение на глазном дне, раздражают тонкие нервы сетчатки, и это возбуждение передается дальше, по зрительному нерву к головному мозгу. Несомненно, именно оттуда восприятие передается нашей душе. Однако даже самый искусный анатом не в состоянии проследить путь нервов до их начала;⁴ это навсегда останется для нас тайной, в которой сокрыта связь нашей души с телом. Что бы мы ни думали об этой связи, мы вынуждены признать, что она является самым ярким свидетельством всемогущества Творца, которое всегда останется для нас непостижимым. Пусть это рассуждение приведет в замешательство тех вольнодумцев, которые в своей ограниченности отвергают все, чего не могут постичь!

15 августа 1760 г.

Письмо 42

Продолжение и рассмотрение чудесных особенностей, открывающихся в строении глаза

Я надеюсь, что В. В. будет приятно рассмотреть более внимательно вместе со мной поразительные особенности, которые мы можем обнаружить в строении глаза; прежде всего зрачок является достойным предметом нашего восхищения. Зрачок — это то черное отверстие в центре радужной оболочки, через которое лучи проникают внутрь глаза. Чем шире открыто это отверстие, тем больше лучей может войти в глаз и воспроизвести соответствующее изображение на сетчатой оболочке; следовательно, изображение это будет тем ярче, чем шире открыт зрачок. Если внимательно присмотреться к глазам человека, то обнаруживается, что зрачок у него бывает то больше, то меньше. Можно отметить вообще, что зрачок сильно суживается при очень ярком свете, и, наоборот, расширяется в слабо освещенном месте. Это изменение размеров зрачка совершенно необходимо, для того чтобы наше зрение было совершеннее. Когда мы находимся в ярко освещенном месте, сила световых лучей велика, и довольно небольшого количества этих лучей, для того чтобы воздействовать на нервы нашей сетчатки; в этом случае зрачок должен сузиться. Если бы он был открыт шире и принял большее количество лучей, сила света оказала бы чрезмерное воздействие на нервы и они причинили бы нам боль. Так бывает, когда мы смотрим прямо на Солнце, которое нас ослепляет, вызывая при этом острую боль на дне глаза. Если мы могли бы еще больше сузить зрачок — так, чтобы через него проходило лишь очень малое количество лучей, то тогда мы не испытали бы никакого неприятного ощущения. Но сужение зрачка не зависит от нашей воли. Орлы имеют перед нами то преимущество, что они могут прямо смотреть на Солнце;¹ но, как это удалось заметить, их зрачок при этом настолько суживается, что становится подобным точке.

Поскольку при ярком свете требуется крайне малое раскрытие зрачка, то, следовательно, чем слабее свет, тем больше расширяется зрачок; и в темноте он расширяется до такой степени, что занимает почти всю радужную оболочку. Если отверстие оставалось бы таким же узким, как и при ярком свете, то слабые лучи света, проходящие через него в глаз, не способны были бы оказать на нервы воздействие, достаточное для того, чтобы вызвать зрительное ощущение. В этом случае, для того чтобы воздействие было заметным, необходимо, чтобы лучи поступали в глаз в большем количестве. Если бы мы могли еще шире раскрыть зрачок, то получили бы возможность хорошо видеть и в почти полной темноте. В связи с этим приводят пример одного человека, у которого от удара в глаз зрачок настолько расширился, что он мог читать и различать мельчайшие предметы в полной темноте. Кошки и некоторые другие животные, которые бродят по ночам, обладают способностью расширять зрачок значительно более, чем человек. У сов же зрачки так широко раскрыты, что эти птицы не могут переносить свет даже слабой силы.² Когда у человека зрачок расширяется или суживается, это происходит помимо его воли; он не властен раскрывать и суживать зрачок по своему желанию. Как только он окажется в ярко освещенном месте, его зрачок сузится, а когда он возвратится в место менее освещенное или темное, его зрачок расширится. Однако это изменение не происходит мгновенно, и нужно подождать несколько минут, пока зрачок не приспособится к новым условиям.

В. В., по-видимому, уже замечали, что если перейти внезапно из ярко освещенного места в более темное, как это случается в театре комедии Schuck,³ то сначала невозможно различить людей, которые там находятся. Зрачок еще слишком сужен, и то небольшое количество слабых лучей, которые через него проходят, не в состоянии произвести надлежащего действия. Но постепенно зрачок будет расширяться, чтобы принять требуемое количество лучей.⁴

Противоположное явление наблюдается, если перейти внезапно из темного места в ярко освещенное. Поскольку зрачок в этом случае чрезмерно расширен, сетчатка подвергнется сильному воздействию; человек настолько ослеплен, что вынужден закрыть глаза.

Итак, поразительным нужно считать то обстоятельство, что зрачок может суживаться и расширяться по мере необходимости и что это изменение происходит как бы само собой, независимо от нашей воли.

Философы, которые изучают устройство и функции человеческого тела, не придерживаются единого мнения в этом вопросе, и маловероятно, что когда-либо удастся обнаружить истинную причину этого явления. Однако эта способность зрачка изменяться крайне важна для зрения, которое в противном случае было бы весьма несовершенным.

Но нам предстоит ознакомиться еще со многими другими явлениями, не менее поразительными.

Письмо 43

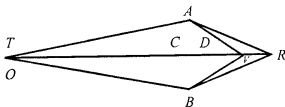
*Продолжение, и в особенности
об огромном различии между глазом животного
и искусственным глазом или камерой-обскурой*

Принцип, который лежит в основе устройства глаза, в общих чертах сходен с тем, что я уже имел честь объяснить В. В.: в соответствии с этим принципом при помощи выпуклой линзы получают изображение предметов на белой бумаге.

И в том и в другом случае изображение возникает оттого, что лучи, выходящие из какой-либо точки объекта, вновь собираются в одном месте благодаря преломлению. При этом не имеет значения, осуществляется ли это преломление одной линзой или несколькими прозрачными средами, из которых состоит глаз. По этой причине можно было бы предположить, что устройство более простое, нежели глаз, состоящее только из одного прозрачного вещества, обладало бы такими же достоинствами. Это был бы крайне сильный довод против мудрости Творца, который, несомненно, следовал в своем творении самым простым путем и избирал наилучшие средства. Существовали вольнодумцы (их предостаточно и в наше время), которые похвалялись, что если Бог при сотворении мира спросил бы их мнения, то они могли бы дать ему хорошие советы, и многие творения стали бы более совершенными. Они воображают, что могли бы предложить более простое и соответствующее поставленным целям устройство глаза. Я рассмотрю этот глаз, предлагаемый вольнодумцами, и после моего разбора В. В. сможет ясно понять, что такое творение было бы весьма несовершенно и недостойно того, чтобы сравнивать его с тем, что создано Творцом.

Итак, по замыслу этих вольнодумцев, глаз должен был бы состоять из одной только выпуклой линзы $ACBD$, которая, как я указывал выше, собирает в одной точке все лучи, приходящие из какой-либо точки объекта;¹ однако это положение верно только отчасти. Сферическая форма, кото-

рую придают поверхностям линзы, имеет тот недостаток, что лучи, падающие на края линзы, собираются не в той же точке, что лучи, проходящие через середину линзы. Здесь имеется всегда небольшое расхождение, почти неощутимое при опытах, когда мы получаем изображения на белой бумаге. Однако, если бы внутри самого глаза происходило то же самое, наше зрение стало бы очень нечетким. Наши вольнодумцы, правда, утверждают, что вместо сферической можно найти другую форму для поверхности линзы, позволяющую собрать в точке R все лучи, выходящие из точки O , независимо от того, проходят ли они



посредине линзы или через ее края. Я допускаю, что это возможно; но если бы линза обладала этим свойством по отношению к точке O , расположенной на известном расстоянии CO от линзы, то она уже не смогла бы его проявить относительно точек, удаленных от линзы на расстояние большее или меньше, чем CO ; и даже если бы это последнее было возможно (что, однако же, не так), нет сомнения, что линза утратила бы это свойство относительно объектов, расположенных сбоку, например в T . Так, мы видим, что при воспроизведении объектов на белой бумаге только те, которые расположены прямо перед линзой, например в точке O , изображены отчетливо, тогда как объекты, находящиеся сбоку, например в T , предстают в крайне искаженном виде; это является серьезным недостатком, который не сумел бы исправить самый искусный мастер. Но есть и другой недостаток, не менее существенный. Говоря В. В. о лучах различного цвета, я указывал, что при переходе из одной прозрачной среды в другую они подвергаются преломлению в разной степени, причем красные лучи испытывают наименьшее преломление, а фиолетовые — наибольшее.² Таким образом, если бы точка O была красной и ее лучи, проходя через линзу AB , сошлись в точке R , то это и было бы место красного изображения; но если бы точка O была фиолетовой, лучи сошлись бы ближе к линзе в точке V . Далее, поскольку белый цвет представляет собой смесь всех простых цветов, белый объект, помещенный в O , даст одновременно несколько изображений, расположенных на разных расстояниях от точки O ; это привело бы к появлению на сетчатке разноцветного пятна, что серьезно исказило бы изображение.³

Действительно, можно наблюдать, что в камере-обскуре, когда показывают на белой бумаге изображения внешних объектов, они видны окруженными радужной каймой. Этого недостатка невозможно избежать, если применять только одно прозрачное вещество, но он вполне устраним, если использовать сразу несколько прозрачных сред. Однако ни теория, ни практика не достигли еще у нас той степени совершенства, которая необходима для изготовления устройства, лишенного всех этих недостатков. Между тем глаз, сотворенный Создателем, не обладает ни одним из перечисленных мною несовершенств,⁴ а также ни одним из прочих многочисленных недостатков, которые будут присущи глазу, предлагаемому вольнодумцами. Отсюда понятна истинная причина того, что божественная мудрость, создавая глаз, применила несколько прозрачных веществ, чтобы уберечь глаз от всех несовершенств, которые присущи созданиям рук человеческих.

Какой прекрасный повод для восхищения! И Псалмопевец⁵ недаром заставляет нас задаваться вопросами: «Образовавший глаз, не увидит ли? Насладивший ухо, не услышит ли?»⁶

И если только глаз является самым совершенным творением, непостижимым человеческому уму, сколь возвышенное представление должны мы иметь о том, кто наделил не только всех людей, но и всех животных, и даже самых жалких насекомых, этим чудесным даром, обладающим высшим совершенством.

19 августа 1760 г.

Письмо 44

*О других совершенствах,
обнаруживаемых в строении глаза*

Итак, глаз намного превосходит любое изобретение, на которое только способно человеческое искусство. Различные прозрачные вещества, из которых состоит глаз, обладают не только различной плотностью, благодаря чему они могут преломлять лучи по-разному, но также особой конфигурацией, вследствие чего все лучи, выходящие из какой-либо точки объекта, собираются точно в одном месте. Это происходит независимо от того, находится ли объект ближе или дальше от глаза, прямо против него или в стороне, и от того, что лучи, исходящие от объекта, преломляются средой в разной степени. Если хоть немного изменить свойства и форму прозрачных веществ, глаз потеряет все те качества, которыми мы только что восхищались. Между тем атеисты смеют утверждать, что как глаза, так и весь мир являются творением чистого случая. Они не находят в нем ничего, что заслуживало бы их восхищения. В строении глаза они не видят никаких признаков божественной мудрости. Они даже считают себя вправе жаловаться на несовершенство нашего органа зрения, поскольку оно не позволяет нам видеть ни в темноте, ни сквозь стены, а также различать мельчайшие предметы на Луне и на других небесных телах. Они во всеуслышание заявляют, что в устройстве глаза не проявляется никакого замысла, что он образовался случайно, подобно комку глины, который встречается нам в поле; они также считают нелепым утверждение, что глаза созданы для того, чтобы мы могли видеть, ибо, по их мнению, мы случайно обрели наши члены и используем их так, как нам это позволяют их свойства.

В. В. с негодованием узнает о существовании подобного мнения, весьма распространенного, однако, в наше время среди людей, которые только себя почитают мудрыми и дерзко насмеваются над всеми, кто находит в мире явные проявления всемогущества и мудрости Создателя.

Бесполезно вступать в спор с этими людьми; они непреклонны в своих воззрениях и отрицают истины, наиболее достойные уважения. Насколько справедливы слова Псалмопевца, говорившего, что только безумцы могут в сердце своем отвергать существование Бога.¹

Претензии, которые эти люди предъявляют к зрению, столь же безрассудны, сколь и несправедливы. И в самом деле, нет ничего более нелепого, чем желать видеть что-то сквозь тела, не способные пропускать световые лучи; что же касается возможности различать мельчайшие предметы на самых далеких звездах, то здесь следует сказать, что наше зрение приспособлено к нашим потребностям, и вовсе не нужно желать чего-то большего, но, наоборот, принимать этот чудесный дар Создателя со смиренным благоговением.²

Для того чтобы отчетливо видеть предметы, недостаточно, чтобы лучи, выходящие из одной точки, сошлись в другой. Помимо этого, необходимо, чтобы

жение D будет меньше площади зеркала. Однако лучи Солнца обладают свойством не только освещать, но и согревать; из этого следует, что в точке D должен возникнуть сильный жар, и если зеркало должных размеров, то этот жар по своей силе может превзойти жар самого яростного пламени. И в самом деле, посредством такого зеркала можно поджечь в одно мгновение любую древесину и даже расплавить любой металл. Не что иное, как изображение Солнца, оказывает столь поразительное действие.

Это изображение обычно называют очагом или фокусом зеркала. Фокус находится всегда посредине между зеркалом и его центром. Зажигательные зеркала следует отличать от зажигательных стекол, которые, по всей вероятности, хорошо известны В. В. О них я намереваюсь поговорить в следующем письме.

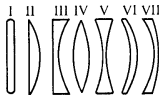
9 августа 1760 г.

Письмо 39

О диоптрике

Поскольку я уже имел честь объяснить В. В. основные явления катоптрики, производимые отражением световых лучей, мне остается теперь поговорить о диоптрике, изучающей преломление лучей при переходе их через различные прозрачные среды. Световой луч следует по своему пути прямолинейно, только пока он находится в одной и той же среде. Как только он перейдет в другую прозрачную среду, он изменит свое направление в большей или меньшей степени, в зависимости от того, под каким углом он входит в эту среду. Только в одном случае луч сохраняет прямолинейное направление, а именно, когда он входит в другую среду перпендикулярно.

Диоптрика имеет дело главным образом с линзами, подобными тем, которые используются в зрительных трубках и микроскопах. Эти линзы — круглые, как диски, но у них две поверхности — все зависит от формы этих двух поверхностей, которые могут быть плоскими, выпуклыми или вогнутыми. Как выпуклая, так и вогнутая поверхность является частью сферы, радиус которой надо знать, ибо он является в сущности мерою выпуклости и вогнутости. Имеется несколько типов этих диоптрических стекол. Стекло первого типа (I) — где обе поверхности плоские. Если вырезать круг в зеркале, получится именно такое стекло, которое воспроизводит предметы без всяких изменений. Стекло второго типа (II) имеет одну плоскую поверхность, а другую — выпуклую; такие линзы называют плоско-выпуклыми. Стекло третьего вида (III) имеет одну поверхность плоскую, а другую — вогнутую. Такие линзы называют плоско-вогнутыми. Стекла четвертого типа (IV) — это те, где обе поверхности



как только он окажется лишенным опоры, или если его не удержат. Причина этого явления или этой склонности, которую мы обнаруживаем у всех предметов, называется тяжестью, или весом. Когда говорят, что все тела обладают тяжестью, то имеют в виду, что все они стремятся упасть и действительно упадут, как только будут лишены того, что служило им до этого опорой.

Древние не имели правильного представления об этом свойстве тел. Они полагали, что существуют также тела, которые в силу своей природы стремятся не упасть вниз, а подняться вверх, как например дым или испарения; и они называли эти тела легкими, чтобы отличить их от тех, которые стремятся упасть вниз.

Однако в настоящее время уже установлено, что именно воздух побуждает эти субстанции подниматься вверх, ибо в безвоздушном пространстве, создаваемом посредством пневматического насоса, дым и пары опускаются вниз подобно камню, из чего следует, что эти вещества так же, как и другие, обладают от природы тяжестью, или весом.¹ Когда они поднимаются в воздух, с ними происходит то же самое, что с деревом в воде: если погрузить дерево в воду, то оно всплывет, несмотря на свою тяжесть, и будет плыть по воде, если только предоставить его самому себе. Это объясняется тем, что дерево легче воды; а по общему правилу, все тела, погруженные в жидкость, всплывают, если они легче этой жидкости.

Так, если в сосуд, наполненный ртутью, бросить кусочки железа, меди, серебра и даже свинца, то они будут держаться на поверхности, а если их утопить, то они сами поднимутся наверх; только золото упадет на дно, так как оно тяжелее ртути.

Итак, поскольку имеются тела, которые, находясь в воде или в другой жидкости, всплывают, несмотря на свою тяжесть, по той единственной причине, что они легче воды или данной жидкости, то нет ничего удивительного, что некоторые субстанции, менее тяжелые, чем воздух, как например дым или испарения, поднимаются в воздухе вверх.

Я уже имел честь обратить внимание В. В. на то, что воздух сам обладает тяжестью и что благодаря ей он поддерживает ртуть в барометре. Поэтому когда говорят, что всем телам присуща тяжесть, то имеют в виду, что все тела без исключения, оказавшись в безвоздушном пространстве, упали бы вниз. Я могу еще к этому добавить, что все они падают с одинаковой скоростью; под стеклянным колпаком, из которого выкачан воздух, скорость падения золотого дуката и птичьего пера будет одинакова. Но об этом я буду говорить более подробно в дальнейшем. Это общее свойство тел могло бы вызвать следующее возражение: ядро, выпущенное из мортиры, не падает тотчас на землю, подобно камню, выроненному из руки, а поднимается сначала вверх. Но можно ли из этого вывести заключение, что ядро не обладает тяжестью? Совершенно очевидно, что лететь вверх ядро понуждает сила пороха, в противном случае оно упало бы незамедлительно. Кроме того, мы видим, что ядро поднимается не беспредельно; как только сила, толкающая его вверх, перестает действовать,

ядро падает на землю² и разрушает все на своем пути, что очевидным образом доказывает наличие у него тяжести.

Итак, когда говорят, что все тела обладают тяжестью, то не отрицают, что им можно воспрепятствовать упасть и даже заставить подняться вверх: но это осуществляется с помощью каких-либо внешних сил, и нет сомнения, что всякое тело, каково бы оно ни было, если оно предоставлено самому себе и находится в покое и без движения, непременно упадет на землю, если только ничто не будет его поддерживать.

Под моей комнатой имеется подвал, но пол меня поддерживает и не дает мне упасть. Если бы пол подо мной внезапно прогнул и одновременно обрушился свод подвала, то я тотчас бы свалился вниз: это произошло бы оттого, что мое тело, как и все другие известные нам тела, обладает тяжестью. Я говорю «известные нам», ибо допускаю, что существуют тела, не имеющие тяжести, как например тела ангелов, которые некогда являлись людям. Такое тело не упало бы, даже если бы под ним не было пола; и оно передвигалось бы так же легко по воздуху, как и по Земле. Но если исключить эти тела, о которых нам ничего неизвестно, все другие знакомые нам обладают тяжестью и благодаря этому свойству стремятся упасть и действительно падают, если ничто не препятствует их падению.

23 августа 1760 г.

Письмо 46

Продолжение той же темы, и в особенности об удельном весе

Выше у В. В. была возможность убедиться, что тяжесть есть свойство, присущее всем известным нам телам, и выражается оно в том, что тела, побуждаемые какой-то невидимой силой, стремятся упасть. Философы много спорят по поводу этой силы: действительно ли она существует и незримо воздействует на тела, заставляя их падать вниз, или же это какое-то внутреннее свойство, заключенное в самом естестве тела, подобно природному инстинкту, и побуждающее их падать.

Этот вопрос можно сформулировать и так: действующее начало тяжести, заложено ли оно в самой природе каждого тела или же существует вне этих тел, так что, если бы оно исчезло, тело потеряло бы вес? Или еще проще: спрашивают, где находится действующее начало тяжести, внутри самих тел или вне их?¹

Прежде чем вступить в этот спор, следует более подробно рассмотреть все обстоятельства, связанные с явлением тяжести тел.

Прежде всего я хочу отметить, что когда телу дают опору так, чтобы оно не могло упасть, например ставят его на стол, то этот стол подвергается воз-

действию силы, равной той, с которой тело стремится упасть; и когда подвешивают тело к нити, то та же сила, которая тянет тело вниз, т. е. его тяжесть, натягивает нить так, что нить, если она недостаточно прочна, может оборваться. Отсюда явствует, что все тела оказывают некое воздействие на препятствия, удерживающие их от падения, и это воздействие точно соответствует силе, побуждающей тело упасть, если бы оно было свободно. Когда кладут камень на стол, то стол испытывает определенное давление. Достаточно положить руку между камнем и столом, чтобы почувствовать эту силу, которая может быть даже настолько велика, что раздавит руку. Эта сила называется весом тела; ясно, что вес и тяжесть тела означают одно и то же, ибо оба этих слова обозначают силу, побуждающую тело устремляться вниз независимо от того, присуща ли эта сила самому телу или существует вне его.

Мы имеем достаточное представление о весе предметов, и поэтому я не считаю нужным на этом останавливаться. Замечу только, что когда соединяют два предмета вместе, то вес одного добавится к весу другого, и таким образом вес составного предмета будет равен сумме весов составляющих его частей; отсюда мы видим, что разные тела могут иметь совершенно различный вес. У нас имеется вполне надежный способ сравнивать вес различных тел и точно его измерять. Этой цели служат весы, устроенные так, что, когда предметы, положенные на обе чаши весов, имеют одинаковую тяжесть, весы находятся в равновесии. Чтобы сравнение было точным, устанавливают постоянную единую меру веса, например фунт.² С помощью хороших весов можно взвесить любые предметы и определить для каждого число фунтов, составляющих его вес. Если предмет слишком велик и не умещается на чашке весов, его разделяют на части и, взвесив каждую часть порознь, затем складывают вместе все веса. Таким способом можно, например, определить вес целого дома, как бы он ни был велик.

В. В., наверное, уже замечали, что маленький кусок золота весит столько же, сколько кусок дерева значительно больших размеров; отсюда ясно, что вес тел не всегда определяется их величиной. Очень маленький предмет может иметь большой вес, тогда как другой, очень большой, будет совсем легким. Следовательно, для каждого тела имеются две совершенно различные меры. Одна мера служит для определения размеров или протяженности тела, иными словами, его объема, и этой мерой пользуется геометрия, которая учит нас способу измерения размеров и объемов тел. Но другой способ измерять тела, посредством которого определяется их вес, коренным образом отличается от первого: он позволяет нам распознать природу различных веществ, входящих в состав данного тела.

Пусть В. В. представит себе несколько кусков, состоящих из разного вещества, но имеющих одинаковые размеры или объем, например, каждый из них представляет собой куб длиной, шириной и высотой в один фут. Такой куб, если он из золота, будет весить 1330 фунтов; если же из серебра — 770 фунтов; если из железа — 500 фунтов; если это вода, то она весит только

70 фунтов, а если воздух — то не более двенадцатой части фунта. Отсюда В. В. должно быть понятно, что различные вещества, из которых состоят тела, обнаруживают весьма ощутимые различия в весе. Для того чтобы словесно выразить это различие, применяют некоторые термины, которые могли бы показаться двусмысленными, если бы их понимали неправильно. Когда, например, говорят, что золото тяжелее серебра, то не следует это понимать так, будто фунт золота тяжелее фунта серебра, ибо фунт, из какого бы вещества он ни состоял, всегда остается фунтом и имеет один и тот же вес; смысл здесь в том, что при наличии двух кусков одинаковой величины, одного из золота, а другого из серебра, первый будет весить больше, чем второй. Равным образом, когда говорят, что золото в 19 раз тяжелее воды, подразумевают, что при наличии двух одинаковых объемов золота и воды вес золота будет превышать вес воды в 19 раз.³

При таком способе выражения ничего не говорится об абсолютном весе тела, но лишь о его относительном весе, причем всегда со ссылкой на одинаковые объемы. Не имеет даже значения, велики ли эти объемы или малы, лишь бы они были равны.

25 августа 1760 г.

Письмо 47

О некоторых терминах и словах, относящихся к понятию тяжести тел, и об их истинном смысле

Вес, или тяжесть, столь свойственны природе всех тел, что почти невозможно представить себе какое-либо тело, которое было бы невесомым. Это свойство играет столь важную роль во всех наших действиях и делах, что повсюду надо принимать в расчет вес, или тяжесть тела. Что же до нас самих, то стоим ли мы, сидим или же лежим, мы постоянно ощущаем тяжесть нашего тела; мы никогда бы не падали, если бы наше тело и все его части не обладали тяжестью, иными словами, стремлением упасть, как только они теряют опору.

Даже наш язык стремится приспособиться к выражению этого свойства всех тел: мы говорим «вниз», имея в виду ту сторону, куда направлено это стремление всех тел. Это слово не имеет иного значения, и если бы предметы стремились в какую-нибудь другую сторону, мы также называли бы это направление «вниз». Равным образом, о противоположном направлении мы говорим «вверх». Здесь нужно отметить, что если предоставить телу свободно падать, то оно устремится вниз по прямой линии. Эта линия называется также *отвесной*;¹ она, следовательно, всегда будет прямой, направленной сверху вниз.

Если представить себе эту линию продолженной вверх до самого неба, то точка, где она достигнет неба, будет называться *зенитом*;² это арабское слово, обозначающее точку на небе, находящуюся прямо над нашей головой.

Отсюда В. В. легко поймет, что такое вертикальная линия: это та прямая, по которой будет падать тело, если его ничто не удерживает. Когда подвешивают тело к нити, прочно закрепленной с другого конца, то эта нить, находясь в покое, вытянется по прямой линии, которая и будет вертикалью. Каменщики при сооружении стен, стараясь сделать их вертикальными, чтобы они не обрушились, пользуются нитью со свинцовым шариком на конце, которую они называют *отвесом*.³

Все полы в доме должны быть так выровнены, чтобы вертикальная линия была к ним перпендикулярна; тогда говорят, что пол горизонтален, и В. В. должно быть понятно, что горизонтальная плоскость — это та, к которой вертикальная линия перпендикулярна. Когда мы находимся на идеально ровной местности, не окаймленной горами, то ее края называют *горизонтом*; это греческое слово, означающее предел нашего зрения; а равнина представляет собой такую же горизонтальную плоскость, как и поверхность озера.

Пользуются также и другим термином для обозначения горизонтальности. Говорят, что такая-то поверхность или линия находятся на *едином уровне*. Считается, что две точки находятся на одном уровне, если прямая линия, проведенная через эти точки, горизонтальна, т. е. вертикальная линия, или линия отвеса, к ней перпендикулярна. Но две точки не будут на одном уровне, если проведенная через них прямая линия не горизонтальна. Тогда одна из этих двух точек будет расположена выше другой. Например, поверхность рек всегда имеет некоторый наклон; если поверхность реки была бы горизонтальна, река оставалась бы неподвижной и не имела бы никакого течения, ибо все реки текут туда, где местность менее возвышенна.

В нашем распоряжении имеются инструменты, позволяющие нам узнать, находятся ли две точки на одном уровне, или одна из них расположена выше и насколько. Такой инструмент называется просто *уровнем*, а умение пользоваться им — искусством нивелировки.

Если В. В. захотели бы провести прямую линию из какой-либо точки в своих апартаментах в Берлине, до точки, расположенной в апартаментах в Магдебурге, то с помощью этого инструмента можно было бы определить, является ли эта линия горизонтальной или же одна из точек находится выше или ниже другой. Я полагаю, что точка в Берлине будет выше точки в Магдебурге. Я основываю это предположение на том, как текут реки Шпрее, Хафель и Эльба. Поскольку Шпрее впадает в Хафель, река Хафель должна быть ниже, чем Шпрее, и по той же причине Эльба должна быть ниже, чем Хафель. Следовательно, уровень, на котором лежит Берлин, выше, чем уровень Магдебурга, ибо если мы проведем прямую линию от поверхности земли в Берлине до верхушки колокольни Магдебургского собора, то эта линия, быть может, окажется горизонтальной.⁴

Отсюда В. В. может также понять, насколько полезно искусство нивелировки при проведении путей для воды. Поскольку вода может течь только из более возвышенного места в менее возвышенное, то, прежде чем начать рыть канал, по которому пойдет вода, нужно убедиться в том, что один его конец выше другого; это можно узнать посредством нивелировки. И даже когда строят город, следует так расположить улицы, чтобы они имели наклон в одну сторону для стока воды. Однако не так обстоит дело при постройке домов; необходимо, чтобы полы комнат были точно на одном уровне и не имели никакого наклона, так как здесь отнюдь не требуется, чтобы вода стекала. Полы с наклоном делают только в конюшнях.

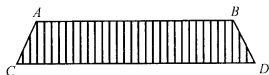
Астрономы также усиленно заботятся о том, чтобы полы в их обсерваториях настилались точно с помощью уровня, чтобы они соответствовали реальному горизонту,⁵ видимому на небе, поскольку вертикальная линия, продолженная вверх, должна указывать зенит.

27 августа 1760 г.

Письмо 48

Ответ на некоторые возражения, выдвигаемые против сферической формы Земли и основанные на понятии тяжести

В. В. известно, что Земля имеет почти шаровидную форму; хотя недавно было установлено, что эта форма является не совершенно сферической, но несколько приплюснутой у полюсов,¹ разница эта настолько незначительна, что я могу оставить ее без внимания при последующих объяснениях. Горы и долины также не очень препятствуют тому, чтобы считать форму Земли сферической, ибо земной шар крайне велик и диаметр его равен 1720 немецким милям, тогда как высота самых высоких гор едва достигает полумили.²

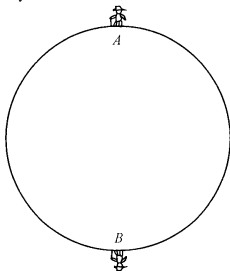


частично водой. Они полагали, что только эта поверхность AB обитаема и что невозможно выйти за ее пределы, иными словами, далее точек A и B , где, по их убеждению, находился край Земли.

Однако позднее стало известно, что Земля имеет шарообразную форму и что повсюду обитаема, а следовательно, существуют местности, прямо противоположные нашим; жители там обращены к нам ногами, из-за чего их и прозвали антиподами.⁴ Это мнение вызвало столь многочисленные споры, что

Древним не была точно известна истинная форма Земли.³ Многие из них представляли ее себе в виде огромной глыбы $ABCD$, плоской сверху по поверхности AB и покрытой частично сухой,

некоторые отцы церкви стали рассматривать его как величайшую ересь и отлучать от церкви тех, кто верил в существование антиподов. Сегодня, однако, может прослыть глупцом тот, кто усомнится в их существовании, в особенности после того, как это мнение было подтверждено путешественниками, совершившими множество кругосветных путешествий. Однако в этой области знаний встречается еще немало затруднений, которые необходимо разрешить. Возражают обычно так; если нарисованный ниже круг представляет собой всю Землю и если мы находимся в пункте *A*, то наши антиподы окажутся на диаметрально противоположном конце, т. е. в пункте *B*, и поскольку голова у нас наверху, а ноги внизу, то у наших антиподов ноги должны быть наверху, а голова внизу. Это кажется весьма странным, ибо те, кто совершали кругосветное путешествие, ничего подобного не замечали на своем пути и не припомнят, чтобы когда-нибудь им приходилось ходить вверх ногами. Если бы у антипода в пункте *B* голова была бы наверху, а ноги внизу, то он касался бы головой Земли и ходил бы на голове.



Поскольку это обстоятельство многих приводило в замешательство, кое-кто старался его объяснить посредством сравнения с шаром, по которому, как это часто можно видеть, мухи и другие насекомые ползают как вверх, так и вниз головой. Однако здесь не учитывалось то обстоятельство, что насекомые, ползающие вниз головой, цепляются своими коготками⁵ и тотчас упали бы вниз, если бы их лишили этой опоры. Согласно упомянутому выше мнению, и антиподы должны были бы иметь на подошвах своих башмаков крючки, которые позволяли бы им цепляться за Землю. Несмотря на то что таких крючков у них нет, они все же не сваливаются с Земли — так же, как и мы с Вами. Подобно тому как мы воображаем, что находимся на самом верху Земли, так и антипод думает то же самое про себя, считая, что мы находимся внизу. Может быть, он даже испытывает такое же беспокойство за нас, как и мы за него, и не способен понять, каким образом мы, находясь вниз головой, можем жить и ходить, не имея прочных крючков на башмаках. Если на самом деле кто-либо захотел бы прицепиться к потолку ногами и повиснуть головой вниз, то ему понадобились бы очень крепкие крючки на ботинках, и несмотря на это он имел бы весьма плачевный вид. Я не хотел бы оказаться на его месте, опасаясь либо сломать себе шею, либо — в лучшем случае — почувствовать себя дурно из-за прилива крови к голове. Я бы предпочел отправиться в те места, где обитают наши антиподы, поскольку я уверен, что буду чувствовать себя там так же хорошо, как здесь, и не бояться тех неприятных ощущений, которые

возникают, когда Вас подвесят ногами к потолку. Однако я слишком стар, чтобы предпринять такое путешествие и преодолеть расстояние, по меньшей мере равное 2700 немецким милям.⁶

Но этот бедный антипод, за которого так боятся, что он упадет, если не будет иметь крючков на башмаках, куда же он в таком случае должен упасть? Без сомнения, ответят, что он упадет *вниз*, но этот *низ* будет все более отдаляться от Земли, и наш достойный сожаления антипод не найдет места, куда поставить ноги, и будет продолжать падать до бесконечности.

Нет никаких оснований для опасений такого рода; никто никогда не слышал, чтобы наш антипод падал столь страшным образом, удаляясь все больше и больше от Земли. Наоборот, антиподы падают так же, как и мы, по направлению к Земле, и, кроме того, они думают, что падают вниз.

Итак, не больше чем заблуждение полагать, что наши антиподы ходят вниз головой, и представлять их себе как бы в перевернутом положении. Это заблуждение возникло из-за ложного смысла, который мы придаем словам «низ» и «верх». Всюду, где бы мы ни находились, «низ» будет именно там, куда падают предметы, а «верх» будет в противоположной стороне. Именно так я определил значение этих слов в моем предыдущем письме; по моему мнению, эту мысль стоит развить более подробно, чтобы опровергнуть ложные представления относительно антиподов, хотя я не думаю, что В. В. испытывает по поводу них какое-либо серьезное беспокойство.

28 августа 1760 г.

Письмо 49

Об истинном направлении и о действии силы тяжести относительно Земли

Хотя поверхность Земли неровная из-за гор и долин, однако там, где есть моря, она совершенно ровная, ибо поверхность воды всегда горизонтальна и вертикальная линия, по которой падают тела, к ней перпендикулярна. Следовательно, если бы вся Земля была покрыта водой, то в каком бы месте Земли мы ни находились, отвесная линия была бы перпендикулярна к поверхности воды.¹

Итак, если фигура *ABCDEFGHJ* представляет Землю, то, поскольку ее поверхность всюду горизонтальна, в пункте *A* будет вертикалью линия *aA*; в пункте *B* — линия *bB*; в пункте *C* — линия *cC*; а в пункте *D* — линия *dD*; в пункте *F* — линия *fF*, и так далее. В каждом месте вертикальная линия определяет то, что называют «низом» и «верхом»; поэтому для находящихся в *A* точка *A* будет внизу, а точка *a* вверху, а для тех, кто находится в *F*, точка *F* — низ, а точка *f* — верх, и так для всех других пунктов на земной поверхности. Все эти вертикальные линии *aA*, *bB*, *cC*, *dD* и т. д. называют также

направлениями силы тяжести, ибо в любом месте тела падают по этим линиям. Так, если из g дать упасть какому-нибудь телу, то оно будет падать по линии gG . Отсюда ясно, что тела отовсюду должны падать на Землю, и притом перпендикулярно к ее поверхности или, вернее, к поверхности воды, если бы она там была.

Итак, в каком месте Земли мы бы ни находились, поскольку тела падают по направлению к Земле, то та сторона, которую называют низом, будет обращена к Земле, а противоположная ей сторона будет верхом; и повсюду, где живут люди, они стоят ногами на Земле, а голова их наверху. Отсюда явствует, что наши антиподы находятся в таком же положении, как и мы, и было бы ошибочно корить их за то, что они ходят вниз головой и вверх ногами; ибо повсюду то, что обращено к Земле, является низом, а противоположная сторона — верхом.

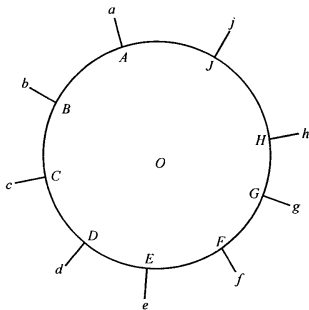
Если бы Земля была идеальным шаром, то все вертикальные линии aA , bB , cC и т. д., если их продолжить внутрь Земли, сошлись бы в точке O , которая называется центром Земли; именно поэтому говорят, что повсюду тела стремятся приблизиться к центру Земли.

Итак, в каком бы месте мы ни находились, если спросить, что такое низ, следует ответить, что низ — это направление к центру Земли.

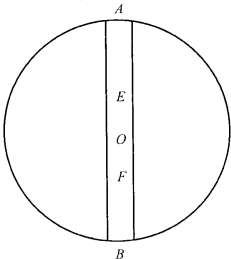
Действительно, если прорыть дыру в Земле в любом месте и продолжать рыть все глубже и глубже, то мы могли бы наконец достичь центра Земли.

В. В. вспомнит, что г-н ...² часто насмехался над этой дырой, доходящей до центра Земли, о которой говорил г-н де Мопертюи.³ Само собой разумеется, что невозможно прорыть такую дыру, так как пришлось бы рыть на глубину 860 немецких миль.⁴ Однако допустим такую возможность только для того, чтобы рассмотреть, что же в таком случае произойдет.

Итак, предположим, что такая дыра вырыта в пункте A и проходит через O сквозь всю толщу Земли и даже до наших антиподов, находящихся в B ; предположим также, что мы спускаемся в эту дыру. Не достигнув центра земли O и дойдя только до точки E , мы увидим центр Земли O внизу, а точку A наверху, и если бы мы не держались за что-нибудь, то упали бы к центру O . Но если мы минуем центр O и доберемся, например, до F , то сила тяжести будет влечь нас к центру O , и тогда нам покажется, что



точка O и еще с большим основанием — точка A находятся внизу, а точка B — наверху. Следовательно, эти слова «верх» и «низ» внезапно изменяют



свое значение, хотя мы прошли от A к B по прямой линии. Пока мы находимся на пути от A до O , мы спускаемся, а двигаясь от O до B , мы на самом деле поднимаемся, потому что удаляемся от центра, а наша собственная тяжесть всегда влечет нас к центру Земли. Таким образом, если бы в E или в F мы начали падать, то в любом случае — в сторону центра Земли. А если бы наш антипод, находящийся в B , захотел бы пройти через то же отверстие от B к A , то он оказался бы точно в таком же положении, т. е. на пути от B до центра O он должен был бы спускаться, а на пути от O до A — подниматься.

Эти соображения позволяют мне высказать следующую мысль относительно тяжести, или веса, тел: тяжесть — это сила, которая понуждает все тела устремляться к центру Земли. Одно и то же тело, находясь в A , увлекается тяжестью в направлении AO , но если перенести его в B , тяжесть заставит его следовать по направлению BO , которое противоположно первому.

Итак, повсюду наш язык связывает значение слов «низ» и «верх», «спускаться» и «подниматься» с направлением силы тяжести, ибо эта сила оказывает существенное влияние на все наши действия и дела, и даже в нашем собственном теле мы ощущаем ее влияние.

29 августа 1760 г.

Письмо 50

О различном действии силы тяжести, в особенности в разных местах и на разных расстояниях от центра Земли

В. В. теперь достаточно осведомлены относительно того важного раздела знаний, который касается действия силы тяжести. Итак, все тела на Земле стремятся под воздействием силы тяжести прямо к центру Земли или перпендикулярно к земной поверхности, и это направление называется направлением силы тяжести. Не без основания тяжесть тела называют силой, поскольку все, что способно приводить тело в движение, называется именно так. Например, говорят о силе лошадей, поскольку они могут тянуть повозку, а также о силе,

присущей течению реки или ветру, ибо они позволяют приводить в движение мельницы. Следовательно, нет сомнений, что и тяжесть является силой, поскольку она заставляет тела падать. Действие этой силы ощущается также в давлении, которое мы испытываем, когда несем какой-нибудь груз.

Рассматривая любую силу, следует учитывать два момента: во-первых, направление, по которому она действует, т. е. толкает тела, во-вторых, ее истинную величину. Что касается тяжести, то нам хорошо известно ее направление, ибо мы знаем, что все тела всегда притягиваются к центру Земли, т. е. перпендикулярно к ее поверхности. Остается, следовательно, рассмотреть вопрос о величине силы тяжести. Эта сила всегда зависит от веса каждого тела, и поскольку тела существенно отличаются друг от друга своим весом, то можно сказать, что чем тяжелее тела, тем большая сила устремляет их вниз; вес каждого тела, таким образом, всегда является истинной мерой силы, увлекающей его вниз, т. е. его тяжести.

Спрашивается, сохраняет ли тело тот же вес, если его перенести в другую местность на Земле? Я говорю о тех телах, которые не претерпевают никакой убыли в весе из-за испарений. Путем надежных опытов удалось установить, что одно и то же тело, перенесенное к экватору, должно стать несколько легче, чем в том случае, если его перенести к полюсам Земли.¹ В. В. легко поймет, что нет возможности обнаружить это различие в весе с помощью весов, даже самых точных, ибо гири, которыми мы пользуемся для взвешивания тел, подвержены таким же изменениям. Так, гиря, которая весит 100 фунтов, перенесенная к экватору, будет по-прежнему называться стофунтовой, но сила, притягивающая ее к Земле, будет несколько меньше, чем здесь. Это различие удалось установить наблюдением над действием силы тяжести, т. е. над падением тела; заметили, что одно и то же тело у экватора падает с меньшей скоростью, чем здесь.² Следовательно, нет сомнений в том, что тяжесть тела несколько изменяется, если его переносить в различные места на земной поверхности.

Теперь вернемся к дыре, проделанной сквозь толщу Земли через центр. Очевидно, что тело, помещенное в самый центр, должно полностью утратить свой вес; здесь уже ничто не побуждает его к движению, поскольку в любом другом месте оно стремится к центру Земли. Итак, поскольку тело, находящееся в центре Земли, не имеет веса, то, следовательно, при приближении к центру его вес будет уменьшаться. Проникая в недра Земли, тело теряет свой вес по мере того, как приближается к центру. Из этого В. В. должно быть ясно, что тяжесть не столь уж нерасторжимо связана с природой данного тела, как это может показаться с первого взгляда, ибо не только ее величина может изменяться, но также и ее направление, которое у антиподов становится даже противоположным.

Совершив мысленно это путешествие до центра Земли, вернемся на поверхность и попробуем взойти на самые высокие горы. Там мы не заметим сколько-нибудь существенного изменения в тяжести тел, хотя есть серьезные

основания предполагать, что вес тела должен уменьшаться по мере удаления его от Земли.

Действительно, если вообразить, что какое-то тело, все более удаляясь от Земли, достигло бы наконец Солнца или даже какой-нибудь неподвижной звезды, то было бы нелепо полагать, что оно вновь упало бы на Землю, ибо вся Земля — это ничто по сравнению с этими огромными небесными телами. Отсюда можно заключить, что тело, удаляясь от Земли, испытывает потерю в весе, который будет уменьшаться, пока совершенно не исчезнет.³ Однако есть убедительные доказательства того, что тело, перенесенное с Земли на расстояние, равное расстоянию от нас до Луны, еще сохраняет некоторый вес, но он будет в 3600 раз меньше веса, который был у этого тела на Земле.

Допустим, что это тело весило на Земле 3600 фунтов. Никто, конечно, здесь, на Земле, не способен удержать в руках такую тяжесть. Но если удалить это тело на расстояние, равное расстоянию до Луны, то я ручаюсь, что смог бы удержать его одним пальцем, ибо тогда оно будет весить не более одного фунта; а на еще более далеком расстоянии от Земли вес его будет еще меньше.

Итак, мы знаем, что тяжесть — это сила, которая притягивает все тела к центру Земли, что она наиболее энергично проявляет свое действие на земной поверхности и ослабевает по мере удаления от этой поверхности, иными словами, как при спуске в недра Земли, так и при подъеме вверх.

Мне остается еще изложить В. В. немало соображений по этому вопросу.

30 августа 1760 г.

Письмо 51

О силе тяжести Луны

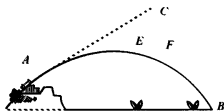
В. В. теперь известно, что если тело поднять с Земли до высоты Луны, то у него сохранится только 3600-я доля его веса — иными словами, сила, притягивающая его к центру Земли, уменьшится в 3600 раз по сравнению с той, которая действует на поверхности Земли. Однако и этой силы достанет, чтобы заставить тело упасть на Землю, если ничто не будет его удерживать. Конечно, это невозможно доказать никаким опытом. Мы слишком прочно привязаны к Земле, чтобы подняться так высоко. Тем не менее есть тело, которое находится на такой высоте, а именно Луна. Следовательно, Луна должна быть подвержена действию силы тяжести, но, как мы видим, она не падает на Землю. На это я могу возразить, что если бы Луна была неподвижна, то она неминуемо должна была бы упасть; однако чрезвычайно быстрое движение Луны препятствует ее падению. Опыты, проведенные здесь, на Земле, убеждают нас в обоснованности этого суждения.¹

Если мы просто уроним камень, не сообщив ему никакого движения, то он тут же упадет по прямой линии, а именно по вертикали.

Но если бросить этот камень, сообщив ему соответствующее движение в сторону, то он не упадет прямо вниз и, прежде чем достичь Земли, опишет кривую линию, причем чем больше будет скорость движения камня, тем длиннее будет эта кривая. Ядро, выпущенное из пушки по горизонтали, достигнет Земли, только пролетев значительное расстояние; а если выстрел произведен с высокой горы, то ядро пролетит, может быть, несколько миль, прежде чем упадет на Землю. Если же поднять пушку еще выше и увеличить заряд пороха, то ядро отлетит еще гораздо дальше. Можно даже допустить, что оно опустится где-то у наших антиподов или даже совсем не упадет, а вернется к тому самому месту, откуда был произведен выстрел, т. е. совершит новое кругосветное путешествие. Ядро превратилось бы тогда в маленькую Луну и обращалось бы вокруг Земли подобно настоящей Луне.²

Пусть только В. В. представит себе то громадное расстояние, на которое Луна отстоит от Земли, и ту поразительную скорость, с которой она оборачивается, и тогда В. В. уже не придется удивляться тому, что Луна не падает на Землю, хотя сила тяжести притягивает ее к центру Земли.

Это станет еще яснее, если мы рассмотрим путь, описываемый камнем, брошенным в сторону, или ядром, выпущенным из пушки. Путь, по которому они следуют, будет всегда кривой линией, как это изображено на прилагаемом при сем рисунке. *A* — это вершина горы, откуда произведен выстрел; ядро, пройдя по кривой путь *AEFB*, упадет на Землю в точке *B*. Здесь следует отметить, что если бы ядро ничего не весило, т. е. не притягивалось бы к Земле, то оно не упало бы, даже если бы его просто уронили, ибо единственной причиной его падения является тяжесть. Следовательно, с еще большим основанием можно утверждать, что в этом случае, если выстрелить из пункта *A* (как это изображено на рисунке), ядро никогда не упало бы на Землю. Мы видим, что именно тяжесть заставляет ядро в конце концов упасть, описав кривую *AEFB*. Мы узнаем также, что именно тяжесть обуславливает кривизну пути *AEFB*, описываемого ядром, и отсюда делаем заключение, что, если бы не было тяжести, ядро не описало бы кривой линии. Однако линия, которая не является кривой, может быть только прямой. Поэтому если бы сила тяжести не побуждала ядро стремиться к Земле, то оно полетело бы по прямой линии *AC*, обозначенной пунктиром, по которой и был направлен выстрел.



Установив это, рассмотрим случай с Луной, которая, без всякого сомнения, движется не по прямой линии. Поскольку Луна всегда находится на более или менее одинаковом расстоянии от нас, ее путь неизбежно должен быть криволинейным и до некоторой степени подобным окружности,³ которую можно было бы описать вокруг Земли на расстоянии, равном удалению Луны.

Теперь мы вправе спросить, почему Луна не движется по прямой линии? Ответ не составит труда. Поскольку мы видим, что именно от тяжести зависит криволинейность пути, описываемого камнем или же ядром, выпущенным из пушки, то вполне разумно предположить, что сила тяжести действует также и на Луну, толкая ее к Земле, и что эта же сила заставляет ее двигаться криволинейно.

Итак, Луна имеет определенный вес; следовательно, она притягивается к Земле. Но этот вес в 3600 раз меньше, чем тот, который она имела бы, находясь на поверхности Земли.

То, что я высказал здесь, не просто предположение, более или менее правдоподобное, а истина, подкрепленная доказательствами. Ибо приписав Луне такой вес, мы в состоянии определить, в соответствии с законами, наилучшим образом обоснованными математически, путь, по которому должна в этом случае двигаться Луна. И найденное таким способом движение будет точно соответствовать действительному движению Луны, что и является самым неопровержимым доказательством.

1 сентября 1760 г.

Письмо 52

Об открытии всемирного тяготения, сделанном великим Ньютоном

Итак, тяжесть, или вес, является свойством, присущим не только всем земным телам, но и самой Луне. Именно тяготение, толкающее Луну к Земле, видоизменяет ее движение,¹ так же как она изменяет движение пушечного ядра или камня, брошенного рукой. Этим важнейшим открытием мы обязаны покойному г-ну Ньютону. Однажды, когда этот великий английский философ и математик лежал в своем саду под яблоней, яблоко упало ему на голову,² что дало ему повод к размышлениям. Ньютон понял, что именно сила тяжести заставила яблоко упасть, когда оно отделилось от ветки из-за порыва ветра или по какой-либо другой причине. Эта мысль представляется весьма естественной; не исключено, что она могла прийти в голову любому крестьянину, однако Ньютон не остановился на этом. «Дерево это должно быть очень высокое», — подумал он и задался следующим вопросом: «Упало бы яблоко вниз, если бы дерево оказалось еще во много раз выше?». В этом он несколько не сомневался.

Но если бы дерево было бы настолько высоким, что достигало бы Луны, упало бы яблоко или нет? Этот вопрос ему трудно было сразу решить. В том случае, если яблоко упадет, что казалось ему вполне вероятным, поскольку невозможно представить себе тот предел высоты дерева, откуда бы яблоко перестало падать, — оно, очевидно, должно было бы сохранить некоторую

тяжесть, толкающую его к Земле. И поскольку Луна находится в том же самом месте, то, следовательно, ее будет притягивать к Земле та же сила, что заставляет падать яблоко. Но так как Луна не упала ему на голову, он пришел к заключению, что причиной этого должно быть движение Луны, подобно тому как ядро может пролететь над нами, не падая вертикально вниз.

Это сопоставление движений Луны и ядра побудило его изучить более внимательно данный вопрос; с помощью самой изощренной математики он открыл, что Луна в своем движении следует тем же законам, которые мы наблюдаем при полете ядра. Таким образом, если бы удалось забросить ядро на высоту Луны, сообщив ему такую же скорость, то движение ядра уподобилось бы движению Луны. Он отметил только то различие, что вес ядра на таком расстоянии от Земли будет значительно меньше его веса здесь, внизу.

Из моего рассказа В. В. сможет понять, что Ньютон начал свое рассуждение с весьма простой мысли, которая могла бы прийти на ум и простому крестьянину, но то, к чему он пришел в дальнейшем, выходит бесконечно далеко за пределы понимания крестьянина. Поразительным нужно считать то свойство Земли, что не только все тела, находящиеся на Земле, но и те, которые отстоят от нее очень далеко и даже на расстоянии, где находится Луна, обладают силой, толкающей их к центру Земли, иными словами, тяжестью, которая уменьшается по мере того, как тела отдаляются от земной поверхности.

Английский ученый не остановился на этом; поскольку ему было известно, что планеты во всем подобны Земле, он пришел к выводу, что вблизи каждой планеты предметы, которые там падают, обладают тяжестью, и эта тяжесть заставляет их стремиться к центру данной планеты. Эта тяжесть может оказаться больше или меньше, чем на Земле, так что тело, имеющее определенный вес здесь, на Земле, перенесенное на другую планету, может стать там тяжелее или легче. И наконец, эта сила притяжения каждой планеты распространяется очень далеко вокруг. Так как нам известно, что планета Юпитер имеет четыре спутника, а Сатурн — пять,³ которые обращаются вокруг этих планет, как Луна вокруг Земли, то очевидно, что движение спутников Юпитера видоизменяется их притяжением к центру Юпитера, а движение спутников Сатурна — их притяжением к центру Сатурна.

Подобно тому как Луна обращается вокруг Земли, а спутники — вокруг Юпитера или Сатурна, так и все планеты сами обращаются вокруг Солнца; из этого Ньютон вывел свое знаменитое заключение, что Солнцу также присуще свойство притягивать тела и что все тела, находящиеся около Солнца, притягиваются к нему силой, которую можно было бы назвать солнечным тяготением. Эта сила распространяется очень далеко вокруг Солнца и за пределы всех планетных орбит, поскольку именно эта сила тяготения видоизменяет их движение. И тот же Ньютон, благодаря мощи своего ума, нашел способ определять движение тел, если известна сила их притяжения. И так как он открыл силы, которые притягивают все планеты, он смог дать точное описание их движения. И действительно, до этого великого философа ученые пребывали

в полном неведении относительно движения небесных тел; и только ему мы обязаны теми великими познаниями, которые мы имеем в настоящее время в астрономии.⁴

В. В. покажутся удивительными столь большие успехи, которых достигли все науки, исходя из посылки Ньютона, казавшейся вначале столь простой и поверхностной. Если бы Ньютон не лег в саду под яблоней и яблоко не упало бы ему на голову, может быть, мы и сейчас пребывали бы в том же неведении относительно движения небесных тел и бесчисленных явлений, с ним связанных. Поэтому данная тема заслуживает особого внимания В. В., и я льшу себя надеждой вновь обратиться к ней в дальнейшем.

3 сентября 1760 г.

Письмо 53

Продолжение о взаимном притяжении небесных тел

В. В., конечно, поймет, что теория Ньютона должна была приобрести широкую известность, и вполне справедливо, ибо прежде никому не удавалось сделать столь важного открытия, проливающего яркий свет на многие проблемы во всех областях науки. Эта теория получила различные названия, которые следует упомянуть, поскольку она обсуждается довольно часто в различного рода беседах. Ее называют теорией всемирного тяготения, ибо Ньютон доказывает, что не только Земля, но и все вообще небесные тела обладают этим свойством, что все предметы притягиваются друг к другу силой, действие которой подобно весу, или тяжести, откуда и берет свое начало термин «тяготение» (или «гравитация»). Однако сила эта невидима, и мы не можем обнаружить ничего такого, что действовало бы на предметы и влекло их к Земле, а тем более к небесным телам.

Мы наблюдаем явление, до некоторой степени сходное, — притяжение магнитом железа и стали, не имея возможности увидеть, что именно их туда влечет. Хотя теперь уже уверены в том, что это происходит из-за проникновения в поры магнита и железа чрезвычайно тонкой материи,¹ однако мы можем по-прежнему говорить, что магнит притягивает железо, а железо притягивается магнитом, ибо, говоря таким образом, мы не исключаем истинную причину этого явления. Точно так же можно сказать, что Земля притягивает к себе все тела, не только находящиеся около ее поверхности, но и те, которые отстоят от нее на значительном расстоянии; и можно рассматривать тяжесть каждого тела как результат притяжения Земли, которое распространяется даже на Луну. Кроме того, Солнце и все планеты обладают такой же силой притяжения, которая влечет все эти тела друг к другу. Выражаясь тем же языком, говорят, что Солнце притягивает к себе планеты, а Юпитер и Сатурн притя-

гивают к себе своих спутников. Ввиду этого теорию Ньютона называют также теорией притяжения. Поскольку нет никакого сомнения, что на тела, находящиеся вблизи Луны, действует сила, подобная тяжести, то можно сказать, что и Луна притягивает к себе соседние тела; и возможно, что притяжение Луны распространяется до Земли, хотя и очень ослабевает, ибо, как мы уже видели, воздействие земного притяжения на Луну оказывается в значительной степени ослабленным.

Тот же Ньютон поставил это вне сомнения, доказав, что морские приливы и отливы, о которых я буду иметь случай поговорить в другой раз, вызываются силой притяжения Луны, действующей на морские воды. Вследствие этого не приходится больше сомневаться, что планеты Юпитер и Сатурн в свою очередь притягиваются своими спутниками и что даже само Солнце испытывает притяжение планет, хотя и весьма незначительное. Отсюда и был выведен закон всемирного тяготения, справедливо утверждающий, что Солнце не только притягивает планеты, но и само притягивается каждой из них, и что все планеты притягивают друг друга.

Итак, Земля притягивается не только Солнцем, но также и всеми другими планетами, хотя сила притяжения последних почти неощутима по сравнению с солнечной.

В. В. легко поймет, что движение планеты, притягиваемой не только Солнцем, но в той или иной мере также и другими небесными телами, должно несколько отличаться от движения, которое мы наблюдали бы, если бы она подвергалась воздействию только одного Солнца. Следовательно, силы притяжения других планет должны вызывать некоторые неправильности в ее движении. Наблюдения показали, что подобные возмущения действительно имеют место, благодаря чему закон всемирного тяготения получил настолько убедительное подтверждение, что никто теперь уже не может сомневаться в его истинности.²

Я должен еще отметить, что кометы также подчиняются тяготению;³ притягиваемые в основном Солнцем, которое определяет их движение, они испытывают на себе также силы притяжения всех планет, в особенности если последние находятся от них на не очень далеком расстоянии. Ибо, согласно общему закону, о котором речь пойдет дальше, притяжение всех небесных тел уменьшается на расстоянии и увеличивается вблизи. Но кометы и сами обладают способностью притягивать к себе другие тела, причем тем сильнее, чем ближе к ним они находятся. Следовательно, когда какая-нибудь комета проходит достаточно близко от планеты, ее притяжение может изменить движение последней. При этом и ее собственное движение из-за притяжения планеты несколько искажается. Эти выводы подтверждаются наблюдениями, и можно уже привести примеры, доказывающие, что движение кометы было изменено притяжением планет, возле которых она проходила; также и в движении Земли и других планет наблюдались некоторые отклонения, обусловленные притяжением комет.

Неподвижные звезды, поскольку они являются небесными телами, подобными Солнцу, по-видимому, также обладают силой притяжения, но мы не ощущаем ее влияния по причине непомерно далекого расстояния.

5 сентября 1760 г.

Письмо 54

О различных мнениях философов относительно всемирного тяготения и особенно о мнении аттракционистов, последователей теории притяжения

Итак, самыми неопровержимыми доказательствами подтверждается тот факт, что всеми небесными телами управляет всемирное тяготение, которое толкает или притягивает их друг к другу, причем сила тяготения будет тем большей, чем ближе одно к другому находятся эти тела.

Не приходится сомневаться в истинности самого факта, однако спорят по поводу того, следует ли называть эти силы «толкающими» или же «притягивающими», хотя выбор слова ничего не меняет в самом явлении.

В. В. известно, что результат будет одинаков, толкать ли повозку сзади или тянуть ее спереди. Поэтому астроном обращает внимание только на результат действия этой силы, не заботясь о том, толкает ли она небесные тела друг к другу или же они взаимно притягиваются. Равным образом тот, кто наблюдает видимую сторону явлений, не задумывается над вопросом, Земля ли притягивает к себе предметы или же их толкает к ней какая-то неведомая сила. Если мы хотим проникнуть в тайны природы, нам необходимо знать, стремятся ли небесные тела друг к другу, толкаемые или же притягиваемые некоей силой; воздействует ли на эти тела некая топкая невидимая материя, которая влечет их друг к другу, или же их взаимное притяжение обусловлено каким-то скрытым, оккультным свойством.¹

У ученых нет единого мнения по этому вопросу; среди них есть и сторонники толкающей силы (импульсионисты), и сторонники притяжения (аттракционисты).

Покойный г-н Ньютон склонялся к идее притяжения, и в настоящее время все англичане являются ревностными аттракционистами. Они, конечно, признают, что не существует ни тросов, ни каких-либо приспособлений, обычно употребляемых для тяги, посредством которых Земля могла бы притягивать к себе тела и обуславливать тяжесть. И также они не видят между Солнцем и Землей ничего такого, что позволило бы Солнцу притягивать Землю.

Если бы мы увидели повозку, следующую за незапряженными лошадьми,² причем нет ни веревки, ни чего-либо другого, что бы их связывало, то мы

никогда не подумали бы, что лошади тянут повозку; скорее, нам пришло бы в голову, что повозку понуждает двигаться какая-то невидимая сила, или увидели бы в этом проделки какой-то колдуньи. Господа англичане, однако, твердо придерживаются своего мнения. Они даже утверждают, что свойство притягивать друг друга столь же присуще всем телам, как и протяженность, и если допустить, что Богу угодно было так создать предметы, чтобы они взаимно притягивали друг друга, то вопрос будет решен.

Если бы во всей Вселенной существовало только два тела, то как бы велико ни было расстояние между ними, они сразу устремились бы друг к другу, вследствие чего произошло бы их сближение и даже соединение.

Отсюда следует, что, чем больше размеры тела, тем сильнее оно притягивает к себе другие тела;³ ибо если это свойство присуще самой материи, то чем больше ее содержится в данном теле, тем с большей силой оно притягивает другие тела. И поскольку Солнце по своей величине превосходит все другие планеты, сила притяжения, которой оно обладает, во много раз превышает силу притяжения планет. Защитники идеи притяжения также отмечают, что поскольку Юпитер значительно больше Земли, то сила, с которой он притягивает к себе своих спутников, значительно больше силы, притягивающей Луну к Земле. Согласно этому мнению, тяжесть земных тел есть результат совместного действия всех сил, притягивающих эти тела к разным частям Земли. Если бы Земля содержала больше материи, чем она содержит в действительности, то и сила ее притяжения также возросла бы и соответственно увеличилась бы тяжесть, или вес, земных тел. И наоборот, если бы Земля каким-либо образом лишилась некоторой части своей материи, то это вызвало бы уменьшение ее силы притяжения и все земные тела стали бы легче.

Возражая этим ученым, указывают, что если придерживаться их взглядов, то два каких-нибудь предмета, положенные, например, на стол, должны притягивать друг друга и, следовательно, сближаться. Они соглашались с такой постановкой вопроса, но указывают при этом, что в данном случае притяжение было бы столь мало, что не могло бы вызвать сколько-нибудь ощутимого эффекта. Ибо если вся масса Земли всей своей силой притяжения порождает в каждом теле всего лишь его вес, или тяжесть, то тело, которое будет во много миллионов раз меньше Земли, произведет действие, во столько же раз меньшее. Легко можно понять, что, если вес тела будет во много миллионов раз меньше — эффект сведется к нулю. Отсюда следует, что если только тела или по крайней мере одно из них не будет обладать огромными размерами, то мы не заметим никакого притяжения.

Итак, в этом отношении довод, выдвигаемый против сторонников притяжения, нельзя считать убедительным. В подтверждение своего мнения они ссылаются еще на опыты, проведенные в Америке учеными Парижской Академии:⁴ находясь вблизи очень высокой и большой горы, они смогли заметить некоторое незначительное притяжение, которое гора оказывала на предметы, находящиеся неподалеку от нее.

Итак, приняв теорию аттракционистов, не следует бояться, что она приведет нас к ошибочным выводам; напротив того, можно быть заранее уверенным в их истинности.

7 сентября 1760 г.

Письмо 55

О силе, с которой притягиваются друг к другу все небесные тела

В. В. известно свойство магнита притягивать к себе железо: мы видим, как маленькие кусочки железа или стали, например иголки, поднесенные близко к магниту, притягиваются им с тем большей силой, чем ближе к нему они находятся. Поскольку не видно, что именно влечет их к магниту, принято говорить, что магнит их к себе притягивает, и само явление называют притяжением. Однако не приходится сомневаться, что существует какая-то очень тонкая материя, которая, хотя она и невидима, производит это действие, заставляя железо тянуться к магниту. Но поскольку язык наш сообразуется с видимой стороной явлений, то вошло в привычку говорить, что магнит притягивает железо и что имеет место притяжение.

Хотя подобное свойство присуще только магниту и железу, оно позволяет нам объяснить понятие притяжения, которым столь часто пользуются современные ученые. Итак, они говорят, что свойство, подобное тому, которым обладает магнит, присуще вообще всем телам и что все тела в нашем мире взаимно друг друга притягивают; но этот эффект становится ощутимым, только когда тела имеют огромные размеры, а у небольших предметов его невозможно обнаружить. Каким бы большим ни был, например, камень, он не оказывает никакого притягивающего действия на другие предметы, которые приближают к нему, ибо его сила притяжения слишком мала, чтобы проявиться. Но если увеличить размеры камня во много тысяч раз, то притяжение в конце концов станет вполне ощутимым. Я уже рассказывал В. В. о том, что наблюдением было якобы установлено некое небольшое притяжение, проявляемое одной высокой горой в Америке. Какая-нибудь более высокая гора проявила бы еще большую силу притяжения, а тело еще во много раз больших размеров, как например вся Земля, притягивало бы тела с соответственно большей силой. Следовательно, эта сила, благодаря которой Земля притягивает к себе все тела, и есть тяжесть, обуславливающая, как мы это и видим на самом деле, стремление всех тел к Земле.

Итак, согласно этой теории, тяжесть, или вес, заставляющий тела падать вниз, есть не что иное, как действие всей Земли, притягивающей к себе все тела. Если масса Земли была бы больше или меньше, вес, или тяжесть, тел соответственно увеличился бы или уменьшился. Отсюда понятно, что

все другие огромные тела во Вселенной, как-то: Солнце, планеты и Луна — обладают подобной же силой притяжения, большей или меньшей в зависимости от того, насколько велики они сами. Поскольку Солнце в несколько тысяч раз больше Земли,¹ сила его притяжения будет во столько же раз больше. Согласно вычислениям, масса Луны почти в 40 раз меньше массы Земли,² и, следовательно, сила ее притяжения должна быть во столько же раз меньше. Те же соображения применимы и ко всем другим небесным телам.

9 сентября 1760 г.

Письмо 56

На ту же тему

В силу закона притяжения, или всемирного тяготения, каждое небесное тело притягивает все другие тела и в свою очередь притягивается ими. Для того чтобы судить о величине силы, с которой тела притягивают друг друга, следует рассмотреть два взаимно притягивающихся тела. При этом необходимо уделить внимание трем основным моментам, а именно: во-первых — притягивающему телу, во-вторых — притягиваемому телу и в-третьих — расстоянию между ними, ибо сила притяжения зависит от всех этих трех обстоятельств.

Пусть *A* — притягивающее тело, а *B* — притягиваемое тело; и то и другое — сферической формы, поскольку небесные тела имеют приблизительно такую фигуру. Расстояние между ними измеря-



ется расстоянием между их центрами *A* и *B*, т. е. отрезком *AB*. Что касается первого пункта, относящегося к массе притягивающего тела *A*, то здесь нужно отметить, что, чем это тело больше, тем с большей силой оно притягивает тело *B*. Так, если притягивающее тело *A* было бы в два раза больше, то тело *B* притягивалось бы с двойной силой, а если бы в три раза, то с тройной, и т. д., полагая при этом, что расстояние между центрами остается всегда одинаковым.

Итак, если Земля содержала бы больше или меньше материи, чем она содержит ее на самом деле, то все тела притягивались бы к ней сильнее или слабее, и тяжесть их была бы соответственно больше или меньше. И так как вся Земля притягивается Солнцем, то, если допустить, что Солнце увеличилось бы или уменьшилось, оно стало бы притягивать Землю с соответственно большей или с меньшей силой. Что касается притягиваемого тела *B*, то следует отметить, что если притягивающее тело *A* и расстояние *AB* остаются прежними, то, чем больше или меньше будет тело *B*, тем больше или меньше будет сила,

которая притягивает его к телу A . Так, если тело B станет вдвое больше, то и сила притяжения его к телу A увеличится вдвое, если втрое больше, то сила увеличится в три раза, и т. д.

Чтобы представить все это с большей ясностью, предположим, что на месте притягивающего тела A находится Земля и что сила, притягивающая тело B , есть не что иное, как его тяжесть. Нам известно, что, чем больше или меньше тело B , тем соответственно больше или меньше будет его тяжесть. Отсюда мы заключаем, что, пока притягивающее тело A и расстояние AB остаются неизменными, сила притяжения тела B будет точно соответствовать его массе. Чтобы выразить это соотношение, в математике употребляют термин *пропорциональность*. Следовательно, можно сказать, что сила, с которой тело B притягивается к телу A , пропорциональна массе тела B . Это означает, что если масса тела B будет в три или четыре раза больше, то и сила, с которой притягивается это тело, возрастет во столько же раз.

И в том, что относится к первому пункту, когда рассматривается притягивающее тело A , говорится то же самое, а именно, что сила, с которой тело B притягивается к телу A , также пропорциональна массе тела A , если полагать, что тело B и расстояние AB неизменны.

Я должен здесь еще заметить, что, когда речь идет о величине притягивающего тела A или притягиваемого тела B , имеется в виду количество материи, содержащейся в этих телах, а не только их размеры. В. В., наверное, вспомнит, что тела весьма отличаются друг от друга в этом отношении: есть такие, в которых при малом объеме содержится много материи, как например в золоте, между тем как другие, например воздух, в большом объеме содержат весьма малое количество материи. Следовательно, когда мы здесь говорим о различных телах, следует всегда судить о них по количеству содержащейся в них материи, которое тоже называют их массой.

Мне остается только рассмотреть третий пункт, т. е. расстояние AB между обоими телами, полагая, что сами они остаются неизменными. Здесь следует отметить, что при увеличении расстояния AB притяжение уменьшается, а при уменьшении расстояния притяжение возрастает, однако в соответствии с правилом, которое не так легко изложить. Когда расстояние становится вдвое больше, сила, с которой тело B притягивается к телу A , будет в 2 раза по 2, т. е. в четыре раза, меньше; если расстояние увеличивается втрое, сила притяжения станет в 3 раза по 3, т. е. в девять раз, меньше, если вчетверо — то в 16 раз меньше, и т. д. Так что при расстоянии в 100 раз большем сила притяжения будет в 100 раз по 100, т. е. в 10 000, раз меньше.

Отсюда явствует, что для очень больших расстояний сила притяжения должна в конце концов стать совершенно ничтожной. И напротив, когда расстояние AB очень мало, сила притяжения может быть очень большой, несмотря на то что тела будут довольно малых размеров.

Письмо 57

На ту же тему

Когда тело *B* притягивается другим телом *A*, то, как я это показал выше, сила притяжения пропорциональна прежде всего массе притягивающего тела *A* и массе притягиваемого тела *B*. Однако сила притяжения зависит от расстояния между этими телами таким образом, что если расстояние стало бы больше в 2 раза, в 3, 4 или 5 раз, то сила притяжения уменьшилась бы в 4 раза, в 9, 16 или 25 раз. Чтобы установить здесь определенное правило, нужно умножить на самое себя число, указывающее, во сколько раз увеличилось расстояние, и тогда произведение покажет нам, во сколько раз стала меньше сила притяжения. Чтобы сделать это правило совершенно ясным, заметим, что когда число умножают на самое себя, то произведение называется *квадратом* этого числа; для того чтобы найти эти квадраты, нужно умножить числа на самих себя следующим образом:

умнож. на	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
квадрат	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100

умнож. на	11	умнож. на	12
	<u>11</u>		<u>12</u>
	11		24
	<u>11</u>		<u>12</u>
квадрат	121	квадрат	144

Из последнего примера ясно, что квадрат числа 12 равен 144, и, если желательно узнать квадрат другого какого-либо числа, например 258, нужно умножить это число на самое себя; произведем следующее действие:

$$\begin{array}{r}
 \times 258 \\
 258 \\
 \hline
 2064 \\
 1290 \\
 516 \\
 \hline
 66564
 \end{array}$$

откуда видим, что квадратом числа 258 будет 66 564. Таким же способом производят это действие для всех других чисел.

Итак, поскольку нужно умножить число, выражающее расстояние между телами, на самое себя, ясно, что сила притяжения уменьшается во столько

раз, во сколько увеличивается квадрат расстояния, или, что то же самое, квадрат расстояния будет во столько раз больше, во сколько раз уменьшится сила притяжения.

При трактовке проблем такого рода математики, для того чтобы их хорошо понимали, употребляют некоторые термины, которые следует объяснить, ибо они встречаются иногда и в разговорах. Если бы сила притяжения возрастала пропорционально квадрату расстояния, то можно было бы сказать, что она прямо пропорциональна квадрату расстояния. Но поскольку происходит как раз обратное, т. е. сила притяжения убывает в то время, как квадрат расстояния увеличивается, то пользуются словом *обратно*; чтобы выразить эту противоположность, говорят, что сила притяжения *обратно* пропорциональна квадрату расстояния. Это и есть математический способ выражения, смысл которого должен быть понятен В. В., поскольку он соответствует тому, о чем я писал выше.

Итак, чтобы судить о силе притяжения одного тела к другому, нужно знать только, что эта сила пропорциональна массе притягивающего тела, затем массе притягиваемого тела и, наконец, — обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Из этого в первую очередь явствует, что, хотя Земля и планеты также притягиваются и неподвижными звездами, сила этого притяжения должна быть совершенно неощутимой ввиду того, что их разделяет невероятно большое расстояние. В самом деле, если предположить, что масса неподвижной звезды равна массе Солнца и звезда эта находится на том же расстоянии от нас, то Земля притягивалась бы к ней с такой же силой, как и к Солнцу. Но поскольку неподвижная звезда удалена от Земли на расстояние, в 400 000 раз превышающее расстояние от нас до Солнца,¹ а квадрат этого числа равен 160 000 000 000, или ста шестидесяти тысячам миллионов, то сила притяжения Земли к этой неподвижной звезде будет в 160 000 000 000 раз меньше силы, которая притягивает Землю к Солнцу; и такое притяжение слишком незначительно, чтобы произвести сколь-либо осязаемое действие. По этой причине сила притяжения неподвижных звезд никак не влияет на движение Земли, планет и Луны; это сила притяжения Солнца управляет в основном движением Земли и планет, поскольку масса Солнца превосходит в несколько тысяч раз массу любой планеты. Однако если две планеты приблизятся друг к другу так, что расстояние между ними станет меньше, чем расстояние от них до Солнца, то сила их притяжения от этого возрастет и может стать настолько значительной, что нарушит их движение. И в самом деле, такое нарушение наблюдалось. Это служит весьма убедительным доводом в пользу теории всемирного тяготения, или гравитации. Так, если комета слишком близко подойдет к какой-нибудь планете, она вполне может изменить ее движение.²

Письмо 58

*О движении небесных тел и методе его определения
с помощью закона всемирного тяготения*

То, что я говорил о силе, с которой все небесные тела притягиваются друг к другу в соответствии с их размерами или, вернее, массой и расстоянием между ними, — все это позволит В. В. легко понять, как можно рассчитать движение этих тел, чтобы в любой момент определить истинное местоположение каждого тела. В этом и состоит сущность астрономической науки, которая требует точного знания движения всех небесных тел,¹ чтобы иметь возможность вычислить для любого момента как в прошлом, так и в будущем место, где находится данное небесное тело, и точку, где оно должно появиться на небе, если наблюдать за ним с Земли или из какого-либо другого пункта во Вселенной!

Наука, которая занимается движением вообще, называется *механикой*, или *динамикой*. Ее задача — в том, чтобы определить движение любых тел, приводимых в движение какими угодно силами. Эта наука является одним из главных разделов математики. И те, кто ею занимается, прилагают все свои усилия, чтобы довести механику до высшей степени совершенства. Их исследования, однако, настолько сложны и глубоки, что еще рано похвалиться окончательным успехом, и приходится довольствоваться медленным продвижением вперед. Только за последние десять или двадцать лет были достигнуты довольно значительные успехи. Как правило, именно по этим проблемам Парижская Академия наук предлагает ежегодно задачи, и за наилучшее их решение присуждаются довольно высокие премии.

Наибольшая трудность заключается в том, что существует великое множество сил, которые толкают или притягивают любое небесное тело ко всем другим телам. Если бы каждое тело притягивалось только одним каким-либо телом, то проблема не представляла бы никаких трудностей. Великий английский математик, покойный г-н Ньютон, умерший в 1728 г.,² первым успешно рассчитал движение двух взаимно притягивающихся тел в соответствии с законом, о котором я уже имел честь говорить В. В. Согласно этому закону, если бы Земля притягивалась только к Солнцу, можно было бы совершенно точно определить движение Земли и отпала бы необходимость в каких-либо других изысканиях. То же самое можно было бы сказать и о других планетах — Сатурне, Юпитере, Марсе, Венере, Меркурии, если бы все эти тела притягивались только Солнцем. Но поскольку Земля притягивается не только Солнцем, но и всеми другими небесными телами, проблема становится несравненно более сложной и запутанной из-за того, что существует множество действующих на Землю сил.

К счастью, можно не принимать в расчет те силы, которые притягивают Землю к неподвижным звездам, ибо эти звезды, какова бы ни была их масса, необычайно далеко отстоят от нас, и поэтому их воздействие на Землю настолько незначительно, что им можно пренебречь. Именно по этой причине

движение Земли и других планет остается совершенно таким же, как если бы неподвижных звезд вообще не существовало.

Итак, помимо силы притяжения Солнца, остается только рассмотреть силы, с которыми планеты притягиваются друг к другу. Эти силы также весьма невелики, если сравнить их с теми, которые притягивают каждую планету к Солнцу. Причина в том, что масса Солнца настолько превосходит массу любой планеты, что сила притяжения планет оказывается весьма малой по сравнению с силой Солнца.³ Однако эти силы увеличиваются, когда уменьшаются расстояния, так что расстоянию, в два раза меньшему, соответствует четырехкратное увеличение силы притяжения; расстоянию, в три раза меньшему, соответствует сила, возросшая в 9 раз, и т. д. соответственно квадратам чисел, как я это объяснил в предыдущем письме. Поэтому представляется возможным такое сближение двух планет, при котором сила их взаимного притяжения стала бы равной силе притяжения Солнца и даже намного бы ее превысила. Однако такое, к счастью, в нашем мире не случается, и планеты остаются всегда столь удаленными одна от другой, что сила их притяжения не может идти ни в какое сравнение с силой их притяжения к Солнцу. Именно поэтому, не посягая на то, что находится за пределами этих сведений, можно было бы считать, что каждая планета притягивается только к Солнцу, и это позволило бы легко рассчитать ее движение. Но такое возможно только, если удовольствоваться поверхностным знанием движения планет. Ибо для получения более точных сведений нужно учитывать те малые силы, с которыми притягиваются планеты друг к другу, чем и вызваны небольшие неправильности и отклонения, более чем часто наблюдаемые астрономами. Именно для того, чтобы знать все эти неправильности в движении планет, астрономы, так же как и механики, объединяют все свои силы и умение.

15 сентября 1760 г.

Письмо 59

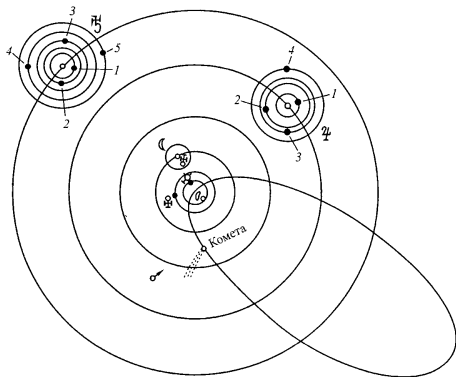
О системе мира

Для того чтобы внести полную ясность в мое рассуждение о движении небесных тел, а также сил, от которых оно зависит, я считаю нужным представить В. В. описание системы мира и составляющих его небесных тел.

Прежде всего следует отметить, что неподвижные звезды являются телами, во всем подобными Солнцу и самосветящимися; они удалены как друг от друга, так и от Солнца на чрезвычайно большие расстояния,¹ и каждая из них может быть таких же размеров, как и Солнце. Я уже имел честь сообщить В. В., что ближайшая из неподвижных звезд отстоит от Земли на расстоянии, по меньшей мере в 400 000 раз превышающее расстояние от нас до Солнца.² Каждая из этих неподвижных звезд, по-видимому, предназначена для того, чтобы обогревать и освещать некоторое число темных тел, подобных нашей Земле и, без сомнения,

обитаемых,³ находящихся вблизи нее, но невидимых для нас из-за своей чрезвычайной удаленности от Земли. Такой вывод, хотя он не может быть подтвержден наблюдениями, основывается на том, что звезды имеют сходство с Солнцем, которое обогревает и освещает нашу Землю, а также некоторые другие тела, подобные Земле и называемые планетами. Всего известно шесть таких небесных тел, освещаемых и обогреваемых Солнцем.⁴ Эти небесные тела не пребывают в покое, каждое из них движется вокруг Солнца по пути, который несколько отличается от кругового и называется орбитой планеты. Само же Солнце стоит почти неподвижно подобно всем неподвижным звездам; движение их, которое мы видим, только кажущееся и объясняется движением Земли.⁵

На прилагаемом ниже рисунке я изобразил то, что называется Солнечной системой, включающей все несветящиеся тела, движущиеся вокруг Солнца и пользующиеся, как и мы, его дарами.



Большая точка в центре рисунка со знаком ☉ представляет неподвижное Солнце. Вокруг него описаны шесть окружностей, обозначающих орбиты или пути, которыми следуют планеты, обращающиеся вокруг Солнца. Планета, наиболее близкая к Солнцу, — Меркурий, обозначенный знаком ☿, а пятнышко, которое там находится, — это сама планета Меркурий, совершающая свой оборот вокруг Солнца приблизительно за 88 дней.

Далее следует Венера, обозначенная ♀, которая завершает свой путь вокруг Солнца примерно за 7 месяцев. Третий круг — это наша Земля под знаком ♁,

обращающаяся вокруг Солнца в течение года, поскольку год — это не что иное, как тот срок, который требуется Земле для того, чтобы описать свой круг около Солнца.

Но в то время как Земля обращается вокруг Солнца, другое тело, следуя за ней в ее движении, обращается вокруг Земли; это — Луна $\mathfrak{D}$, орбита которой также изображена на рисунке.

Две первые планеты φ и φ , по всей видимости, не имеют спутников (т. е. тел, которые их сопровождают), так же как и Марс σ , четвертая планета; он завершает свой путь вокруг Солнца почти за два года. Пятая окружность — это орбита Юпитера $\mathfrak{z}$, который проходит свой путь приблизительно за 12 лет. Вокруг него движутся четыре спутника,⁷ изображенные вместе с их орбитами под номерами 1, 2, 3 и 4. Наконец, шестая и последняя окружность — это орбита Сатурна, которому требуется почти 30 лет, чтобы обойти вокруг Солнца. Эту планету в ее пути сопровождают пять спутников,⁸ обозначенных под номерами 1, 2, 3, 4 и 5.

Таким образом, в Солнечную систему входят шесть основных планет: Меркурий φ , Венера φ , Земля δ , Марс σ , Юпитер $\mathfrak{z}$ и Сатурн $\mathfrak{h}$ и, кроме того, 10 спутников, а именно — Луна, четыре спутника Юпитера и пять — Сатурна. Эта система включает также множество комет, число которых неизвестно. На нашем рисунке изображена одна из них; ее орбита отличается от орбиты планет тем, что она очень вытянута. Таким образом, комета то приближается к Солнцу, то удаляется от него, причем настолько, что становится совершенно невидимой с Земли.

Среди комет была замечена одна, которая совершает свои обороты по орбите приблизительно за 75 лет; это — именно та, которую мы видели в прошлом году.⁹ Что же касается других комет, то не вызывает сомнений, что им требуется несколько столетий для прохождения своих орбит, и, поскольку в прошлом веке точного наблюдения за ними не велось, неизвестно, когда они вернутся.¹⁰

Вот что представляет собой Солнечная система, и вполне вероятно, что подобная же имеется у каждой неподвижной звезды.

17 сентября 1760 г.

Письмо 60

На ту же тему

Помимо тех сведений, которые я сообщил В. В. относительно Солнечной системы, следует представить еще некоторые соображения, поясняющие приведенный выше рисунок. Прежде всего нужно отметить, что линий, обозначающих пути, по которым следуют планеты в своем движении, на самом деле на небе нет, поскольку все небесное пространство, где движутся небесные

тела, — пусто, или, вернее, заполнено той тончайшей материей, называемой эфиром, о котором я уже имел честь подробно рассказывать В. В. Далее, орбиты планет не находятся все в одной плоскости так, как это изображено на рисунке, и если мы примем, что орбита Земли вокруг Солнца изображена на рисунке такой, как она есть, то орбиты прочих пяти планет следует представить себе частично выступающими над плоскостью рисунка, а частично уходящими за нее, или, иными словами, плоскость каждой из этих орбит лежит косо, пересекаясь с плоскостью бумаги и образуя с нею некий угол, который невозможно изобразить на рисунке.

Кроме того, орбиты планет не представляют собой окружности, как нам может показаться, если судить по рисунку; они несколько овальной формы, одна в большей степени, другая — в меньшей. Однако ни одна из них не отличается существенным образом от окружности. Так, орбита Венеры является почти идеальным кругом, но орбиты других планет более или менее овальные, вследствие чего они иногда ближе подходят к Солнцу, а иногда отдаляются от него. Орбиты комет отличаются крайне вытянутой или удлиненной формой, как я изобразил это на рисунке. Что же касается Луны и спутников Сатурна и Юпитера, то их орбиты почти круговые. Также не следует представлять себе орбиты спутников всегда проходящими по одному и тому же месту, как это изображено на бумаге, ибо они не остаются на одном и том же месте, но перемещаются, вовлеченные в движение вокруг Солнца вместе с планетой, спутниками которой они являются. Именно так следует понимать линии, представленные на рисунке. Здесь воображение должно восполнить то, что невозможно изобразить на бумаге.

Теперь В. В. сможет легко понять, что именно хотел сказать покойный г-н де Фонтенель в своей книге о множественности миров.¹

Иногда под «миром» подразумевают Землю всю целиком, со всеми ее обитателями. Но в таком случае каждая планета и даже каждый из спутников заслуживает того, чтобы именовать их «миром»,² ибо более чем вероятно, что каждое из этих небесных тел обитаемо, как и Земля. Таким образом, в одной только Солнечной системе насчитывалось бы шестнадцать миров. Далее, поскольку каждая неподвижная звезда является Солнцем, вокруг которого обращается некое число планет, имеющих, по-видимому, также своих спутников, мы должны были бы признать существование почти бесконечного количества миров, подобных нашей Земле, ибо число звезд, видимых нами невооруженным глазом, превосходит несколько тысяч, а с помощью телескопа мы можем обнаружить еще несравненно больше.

Если же под словом «мир» подразумевать Солнце со всеми планетами и их спутниками, получающими от него свет и тепло, то миров будет столько же, сколько неподвижных звезд. Но если слово «мир» означает Землю со всеми небесными телами или же совокупность живых творений, то тогда следует иметь в виду, что существует только один мир, к которому относится все сущее на нашем свете. Именно в этом смысле слово «мир» упот-

ребляется в философии и особенно в метафизике,³ которая считает непреложной и основополагающей истиной существование только одного мира, являющегося собранием всех существ, созданных Творцом, как бывших некогда, так и сущих и тех, что будут после. Если г-н де Фонтенель понимал бы множественность миров именно в этом смысле, это, несомненно, было бы его заблуждением.

Однако когда философы спорят друг с другом о том, является ли наш мир самым лучшим или нет,⁴ то они без сомнения предполагают наличие множества миров, и многие из них утверждают, что существующий ныне мир — наилучший из всех тех, которые предположительно также существуют. Они представляют себе Бога неким архитектором; намереваясь создать этот мир, он составил множество совершенно различных планов, из которых выбрал тот, в котором были собраны все совершенства в наивысшем проявлении, и тогда создал этот мир, предпочтя его всем другим. Такое мнение, по-видимому, подтверждается историей сотворения мира, где определенно говорится, что все вначале было прекрасно устроено.⁵ Однако множество зол, встречающихся в этом мире, источником которых является человеческая злоба, заставляет нас усомниться в том, возможно ли было создать мир, совершенно свободный от таких несчастий. По моему мнению, следует проводить различие между планом мира, населенного созданиями, обладающими лишь телесной оболочкой, и таким миром, где обитают также существа разумные и одаренные свободой. В первом случае выбор наилучшего плана не представлял бы никаких трудностей. Но в другом случае, когда существа разумные и свободные составляют основную часть мира, суждение о том, что является наилучшим, выходит за пределы нашего разумения. И даже злоба свободных существ может способствовать непостижимым для нас образом совершенству мира.

Итак, мне кажется, что философы не уделили должного внимания этому столь существенному различию; я же слишком хорошо сознаю свою ограниченность, чтобы углубиться в обсуждение столь важного сюжета.

19 сентября 1760 г.

Письмо 61

*О небольших неправильностях,
наблюдающихся в движении планет,
вызванных их взаимным притяжением*

Для того чтобы рассчитать движение небесных тел, входящих в Солнечную систему, следует отделить основные планеты, а именно — Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер и Сатурн — от их спутников, т. е. Луны, четырех спутников Юпитера и пяти спутников Сатурна.

Я уже имел честь объяснить В. В., что эти планеты притягиваются в основном Солнцем, т. е. сила, которая притягивает их к Солнцу, во много раз превосходит силы, притягивающие их друг к другу. Это объясняется и тем, что масса Солнца необычайно велика, и тем, что планеты никогда не приближаются друг к другу настолько, чтобы сила их взаимного притяжения могла стать значительной по сравнению с силой притяжения Солнца. Если бы планеты притягивались только Солнцем, то их движение было бы достаточно правильным и легко поддавалось бы вычислению. Но и те незначительные силы, с которыми планеты воздействуют друг на друга, вызывают некоторые небольшие неправильности, которые астрономы стараются обнаружить, а механики в свою очередь вывести из общих принципов движения. При этом перед нами всегда одна и та же важная проблема: если нам известны силы, действующие на данное тело, каким будет движение этого тела? Принципы, изложенные выше, позволяют нам определить силы, действующие на каждую планету. Так, движение Земли несколько нарушается 1) от притяжения Венеры, которая порой подходит близко к Земле, и 2) от притяжения Юпитера; это притяжение довольно велико по причине больших размеров этой планеты, хотя она всегда находится очень далеко от Земли.

Размеры Марса слишком малы, чтобы эта планета могла оказать ощутимое воздействие на Землю, несмотря на то что иногда она подходит к ней довольно близко. Сатурн обладает наибольшей массой после Юпитера, но он слишком удален от Земли. Что же касается Луны, то, несмотря на ее небольшие размеры, она вызывает некоторые возмущения из-за своей близости к Земле. Прошлогодняя комета¹ была в семь раз ближе к нам, чем Солнце, когда находилась на самом близком расстоянии от нас. Поэтому вероятно, что эта комета может нарушить движение Земли, в особенности если бы она обладала значительной массой, которая, впрочем, нам доподлинно неизвестна.² Если бы эта комета была таких же размеров, как Земля, ее действие должно было бы быть весьма заметно. Но незначительность ее видимых размеров позволяет мне предположить, что ее масса намного меньше Земли и поэтому ее воздействие должно быть слабее в соответствующее число раз. Однако, когда нам удалось увидеть эту комету, она уже находилась очень далеко от нас. В то время, когда она была ближе всего к Земле, она оставалась для нас невидимой, между тем как наши антиподы, по-видимому, могли наблюдать ее во всем ее блеске.

То, что я сказал выше о нарушениях в движении Земли, относится и к другим планетам с учетом их массы и удаленности. Что касается Луны и других спутников, то принцип их движения несколько иной. Луна находится столь близко от Земли, что земное притяжение значительно превосходит притяжение Солнца,³ хотя масса Солнца в несколько тысяч раз больше массы Земли. Этим объясняется то, что Луна в своем движении следует за Землей, как бы связана с ней, и это позволяет считать ее спутником Земли. Если бы Луна находилась значительно дальше от нас, так что притяжение ее к Земле было бы слабее, чем притяжение к Солнцу, тогда Луна стала бы самостоятельной планетой и

совершала бы свои обороты вокруг Солнца; но в действительности Луна в 300 раз ближе к Земле, чем к Солнцу; из этого легко понять, почему земное притяжение может превзойти солнечное.

Итак, поскольку Луна подвергается действию двух основных сил: силы притяжения Земли и силы притяжения Солнца, то очевидно, что расчет ее движения является значительно более сложной задачей, чем расчет движения главных планет, испытывающих воздействие только Солнца (если не считать тех небольших возмущений, о которых речь шла выше). Поэтому во все времена особенности движения Луны приводили в замешательство астрономов, и им никогда не удавалось без значительных ошибок предсказать положение Луны на небе⁴ на тот или иной момент времени.

В. В. должно быть понятно, что, для того чтобы предсказать затмение, как лунное, так и солнечное, нужно иметь возможность точно определять положение Луны. В прошлые века ученые, пытаясь рассчитать какое-либо затмение, часто ошибались в своих расчетах на целый час и даже более: затмение наступало раньше или позже вычисленного срока.

Какие бы усилия ни прилагали в прошлом астрономы, чтобы познать особенности движения Луны, они всегда оставались далеки от истины. И только после того как великий Ньютон открыл подлинные силы, действующие на Луну, мы смогли постепенно приблизиться к истине, преодолев препятствия, которые встречались в этих исследованиях. Я также, со своей стороны, затратил на это много времени, а г-н Майер из Геттингена, следуя по открытому мною пути, достиг наконец той степени точности, которую уже почти невозможно превзойти.⁵

Итак, только за последнее десятилетие мы можем похвалиться, что приобрели весьма точные сведения относительно движения Луны. С этого времени мы получили возможность вычислять затмения с точностью до одной минуты, тогда как прежде часто ошибались на 8 минут и даже более того. Итак, именно механике мы обязаны столь важным открытием, которое приносит величайшую пользу не только астрономии, но также географии и мореплаванию.⁶

23 сентября 1760 г.

Письмо 62

Описание морских приливов и отливов

Сила притяжения небесных тел распространяется не только на всю Землю в целом, но также и на все составляющие ее части. Так, все предметы, которые мы видим на поверхности Земли, притягиваются не только самой Землей, результатом чего является тяжесть, или вес, каждого из них по отдельности, но также и Солнцем, и другими небесными телами, в большей или меньшей степени, в зависимости от размеров этих тел и их удаленности от нас. Прежде

всего очевидно, что сила, с которой какой-нибудь предмет, например камень, притягивается к Земле, должна быть несравненно больше тех сил, которые притягивают этот предмет к Солнцу, к другим планетам и к Луне вследствие огромного расстояния, отделяющего эти небесные тела от Земли. Если предмет удален от центра Земли на расстояние, равное радиусу Земли, то от Луны он находится в 60 раз дальше. Следовательно, если бы Луна была таких же размеров, как Земля, притяжение к Луне было бы в 60 раз по 60, т. е. в 3600 раз меньше, чем притяжение к Земле (т. е. вес данного тела). Но так как масса Луны приблизительно в 70 раз меньше массы Земли,¹ то, следовательно, сила притяжения Луны должна быть в 70 раз на 3600, т. е. в 252 000 раз меньше земного притяжения.

Хотя Солнце в несколько тысяч раз больше Земли, но оно удалено от нас на расстояние, приблизительно в 24 000 раз превышающее расстояние до центра Земли, и по этой причине сила притяжения камня к Солнцу крайне незначительна по сравнению с его тяжестью.

В. В. должно быть ясно, что тяжесть земных тел, являющаяся не чем иным, как силой, притягивающей их к Земле, не может существенно изменяться притяжением небесных тел. Однако сколь бы незначительным ни было это притяжение, оно вызывает весьма замечательное явление, которое всегда привлекало обостренное внимание ученых, а именно *морской прилив и отлив*.² О них так часто говорят, что познакомиться поближе с этим явлением, можно сказать, необходимо. И по этой причине я намереваюсь представить В. В. как подробное описание этого поразительного явления, так и объяснение причин, его вызывающих.

Известно, что большая часть поверхности Земли покрыта водой — морями и океанами. Эти громадные скопления воды отличаются от рек и озер тем, что последние содержат в разные времена года то большее, то меньшее количество воды, тогда как в море количество воды всегда остается примерно одинаковым. Между тем мы видим, что воды моря поднимаются и опускаются по два раза в сутки, довольно регулярно. Например, если в какой-либо гавани вода находится сейчас на самом высоком уровне, то вскоре ее уровень начнет понижаться, и эта убыль продолжается в течение 6 часов, пока не будет достигнут самый низкий уровень. Далее вода снова начинает прибывать, и этот подъем продолжается также 6 часов, до тех пор пока вода не достигнет самого высокого уровня. Таким образом, в течение суток вода поднимается и опускается дважды, достигая попеременно максимального и минимального уровня. Такое чередование поднятия и опускания морских вод называется приливом и отливом. Собственно приливом называют период, когда вода прибывает и поднимается, а отливом — период, когда она снижается и убывает. Именно с этим попеременным повышением и понижением морских вод я и буду иметь честь познакомить В. В.

Прежде всего было замечено, что разность между уровнями прилива и отлива изменяется в зависимости от лунных фаз. В полнолуние и новолуние

уровень воды повышается больше, чем когда Луна находится в квадратурах,³ а в периоды равноденствий, в марте или в сентябре, эти попеременные изменения уровня воды наиболее значительны. Наблюдается также изменение высоты приливов в зависимости от особенностей побережья. В некоторых местах высота прилива не превышает нескольких футов, между тем как в других местах она достигает 40 футов и более. Такие большие приливы бывают в Англии, в порту Бристоль.⁴

Следует также отметить, что это явление наблюдается главным образом в океане, где вода занимает огромное пространство, тогда как в закрытых морях, например Балтийском или Средиземном, приливы незначительны.

Между приливом и последующим отливом проходит не ровно 6 часов, а примерно на 11 минут больше, так что на другой день те же события наступают не в прежний час, а на 3/4 часа позже. Только по истечении 30 дней приливы и отливы снова приходят в те же часы, что точно соответствует времени обращения Луны или периоду от одного новолуния до другого.

26 сентября 1760 г.

Письмо 63

О различных мнениях философов относительно морских приливов и отливов

Когда вода в море прибывает, т. е. в каком-либо месте уровень ее повышается, не следует думать, что она вздувается в силу некоего внутреннего свойства, подобно, например, молоку, которое вздувается в посуде, поставленной на огонь. Подъем воды моря объясняется действительно прибылью воды, притекающей со стороны. Это — самое настоящее течение, которое легко заметить на море, и оно приносит воду в те места, где идет прилив. Чтобы это лучше понять, нужно только представить себе, что на огромном пространстве океана всегда имеются места, где вода стоит низко, тогда как в других местах — высоко. И именно из этих последних мест прежде всего прибывает вода. Итак, когда вода поднимается в каком-либо месте, всегда имеется течение, которое приносит воду из других мест, где вода в то же самое время убывает. Поэтому ошибаются те, кто утверждает, что во время морского прилива общая масса воды увеличивается, а во время отлива — уменьшается. Количество (или общий объем) воды в море всегда одно и то же, но там происходит некое движение, которое попеременно переносит воду из одних областей моря в другие. И если где-то наблюдается прилив, то, без сомнения, в других местах будет отлив, так что увеличению воды в одном месте будет точно соответствовать убыль ее в другом.

Древние философы тщетно пытались обнаружить причину явлений морского прилива и отлива. Великий Аристотель¹ был настолько этим поражен, когда попал с Александром Великим в Восточную Индию, что задумал пойти вслед за

отступающей водой при отливе. Однако возвращение воды при последующем приливе настигло его, и он был накрыт водой, поэтому неизвестно, к каким умозаключениям он смог прийти во время этого рискованного опыта.²

Кеплер,³ который, помимо всего прочего, был также величайшим астрономом, прославившим Германию, полагал, что Земля, как и все небесные тела, подобна настоящему живому существу, и видел в морских приливах и отливах как бы его дыхание. По мнению этого ученого, и люди, и животные подобны насекомым или вшам, которые питаются от кожи этого огромного существа.

В. В. избавит меня от необходимости опровергать столь странное мнение. Декарт, великий французский философ, стремился внести большую ясность в науку: он заметил, что морские приливы и отливы соотносятся главным образом с движением Луны, что было бесспорно величайшим открытием, хотя древние уже догадывались о наличии связи между этими двумя явлениями. Ибо если высокая вода наступит сегодня, например в полдень, то низкая вода будет в 6 часов 11 минут вечера: вода снова поднимется в 22 минуты после полуночи и снова отхлынет на следующий день в 6 часов 33 минуты утра. Следующая высокая вода наступит на другой день через три четверти часа после полудня. Таким образом, со дня на день приливы и отливы наступают с опозданием на $3/4$ часа. И так как та же особенность присуща движению Луны, которая восходит всегда на $3/4$ часа позже, чем накануне, это позволило предположить, что приливы и отливы следуют за движением Луны.

Если в каком-либо месте, например в день новолуния, высокая вода приходится на 3 часа пополудни, можно быть уверенным, что и в дальнейшем в дни новолуния высокая вода будет в три часа пополудни; в последующие же дни она будет всегда наступать позже на $3/4$ часа. Кроме того, не только время наступления каждого прилива и отлива точно соответствует движению Луны, но и высота прилива, которая не останется неизменной, зависит самым тесным образом от Луны. Наиболее высокие приливы наблюдаются повсюду после новолуния и полнолуния; иными словами, в эти периоды подъем воды выше, чем в другие дни: а после того как Луна вступает в первую или последнюю четверть, подъем воды при приливе — наименьший. Эта удивительная гармония, существующая между приливами и движением Луны, уже достаточна сама по себе, чтобы искать главную причину морских приливов и отливов в движении Луны. Поэтому Декарт считал, что Луна, проходя над нами, оказывает давление на атмосферу или воздух, окружающий Землю, а воздух в свою очередь давит на воду, и уровень ее понижается. Если бы это было так, то вода опускалась бы именно в тех местах, над которыми находится Луна, и то же самое происходило бы спустя 12 часов при следующем отливе, чего, однако, не наблюдается.⁴ Кроме того, Луна слишком далеко от Земли, а атмосфера слишком низка для того, чтобы ее достигло воздействие Луны. И даже если Луна или какое-либо другое большое тело прошло бы сквозь атмосферу, маловероятно, чтобы они оказали на нее давление, и еще менее вероятно, чтобы это предполагаемое давление как-то воздействовало на море.

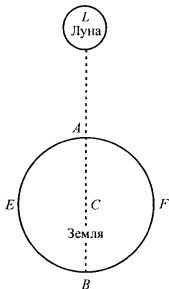
Итак, старания Декарта объяснить приливы и отливы не увенчались успехом. Однако то, что он столь хорошо доказал связь этого явления с движением Луны, позволило его последователям использовать свои познания в этой области с лучшими результатами. Об этом я буду иметь честь сообщить В. В. в последующих письмах.

30 сентября 1760 г.

Письмо 64

Детальное объяснение этого явления морских приливов и отливов с помощью силы притяжения Луны

Поскольку попытка Декарта объяснить морские приливы и отливы давлением Луны на нашу атмосферу оказалась неудачной, представилось более целесообразным искать причины этого явления в притяжении Луной всей Земли, а следовательно, также и моря. Так как сила притяжения всех небесных тел уже убедительно доказана многими другими явлениями, о чем я уже имел честь сообщить В. В., не приходится сомневаться, что она является также причиной морских приливов и отливов. Убедившись в том, что Луна, как и другие небесные тела, действительно обладает способностью притягивать к себе все тела с силой, прямо пропорциональной их массе и обратно пропорциональной квадрату расстояния, легко понять, что море, будучи жидким телом, не может не испытывать на себе действие этой силы; тем более что самая малая сила, как В. В., должно быть, не раз замечали, способна привести в движение жидкость. Остается только выяснить, действительно ли сила притяжения Луны такая, какой мы ее предполагаем, способна вызвать в море то движение воды, которое нам известно под названием прилива и отлива.



Предположим, что прилагаемый при сем рисунок изображает Землю и Луну. А — это место, откуда Луна видна над головой. В — это противоположное место на Земле, где находятся антиподы, а С обозначает центр Земли. Итак, поскольку точка А ближе к Луне, чем точка В, тело в А испытает более сильное притяжение к Луне, чем подобное ему тело, находящееся в В. Если мы предположим наличие третьего такого же тела в центре С Земли, то ясно, что тело А будет сильнее притягиваться к Луне, чем тело

С, а тело *B* слабее, чем тело *C*, поскольку тело *A* находится ближе к Луне, а тело *B* дальше от Луны, чем тело *AC*.

Такие же тела, расположенные в *E* и *F*, будут притягиваться к Луне приблизительно в той же степени, как и тело в центре *C* Земли, поскольку они находятся почти на таком же расстоянии от Луны, как и тело *C*. Отсюда мы заключаем, что все земные предметы притягиваются Луной с неодинаковой силой; различия в силе притяжения зависят от различия их расстояний до центра Луны *L*; таким образом, то или иное земное тело тем сильнее притягивается Луной, чем оно ближе к ней, и, наоборот, притяжение будет тем слабее, чем расстояние между ними больше. Именно на подобное неравенство сил, притягивающих к Луне предметы, находящиеся в разных частях земного шара, следует прежде всего обратить наше внимание, ибо если все тела притягивались бы к Луне одинаково, то они испытывали бы и равное воздействие и в их взаимном расположении на Земле не наблюдалось бы никакого изменения.

Пусть В. В. представит себе несколько повозок, приводимых в движение совершенно одинаковыми силами: они будут следовать по своему пути всегда в определенном порядке и сохраняя между собой одинаковое расстояние; но как только некоторые из них начнут двигаться быстрее, а другие медленнее, порядок тотчас же нарушится.

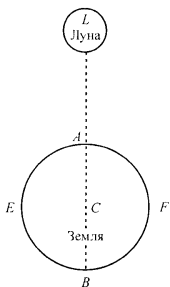
То же самое происходит и с различными земными телами, притягиваемыми Луной. Если бы все эти тела притягивались одинаково, то положение их относительно друг друга оставалось бы неизменным, и мы не заметили бы никакой перемены. Но как только силы, притягивающие их к Луне, станут неравными, порядок и взаимное расположение их изменятся, если только они не скреплены между собой крепкой связью, которую эти силы не смогут нарушить. Такой связи, однако, нет в телах жидких, подобных морю. Причина здесь в том, что во всяком жидком теле все его частицы легко отделяются одна от другой и каждая из них может свободно повиноваться оказываемому на нее воздействию. Отсюда ясно, что, коль скоро силы, действующие на разные части моря, не равны друг другу, должно возникнуть движение и перемещение вод в их ложе.

Мы только что видели, что разные части моря притягиваются к Луне неодинаковым образом, потому что расстояние, отделяющее их от центра Луны, неодинаково. Отсюда следует, что море приходит в движение под воздействием Луны. И поскольку положение Луны относительно Земли беспрестанно меняется и Луна продвигает свой путь вокруг Земли приблизительно за 24 и три четверти часа,¹ то на море должны происходить одни и те же изменения по прошествии периода в 24 и 3/4 часа; следовательно, приливы и отливы должны запаздывать за сутки на 3/4 часа, что и подтверждается опытом. Теперь требуется доказать, каким образом попеременное повышение и понижение уровня моря, следующие друг за другом каждые 6 часов и 11 минут, зависят от неодинаковой силы притяжения Луны. Это я и намереваюсь объяснить в последующих письмах.

Письмо 65

Продолжение

Луна, как В. В. смогли в этом убедиться, вызывает какое-либо изменение в состоянии Земли, только поскольку она оказывает неравномерное воздействие на разные ее части. Причина здесь в том, что если все части Земли подвергались бы одинаковому воздействию, то они и притягивались бы в одинаковой степени, а в их взаимном положении не произошло бы, следовательно, никакого изменения.



Однако поскольку тело в точке A находится ближе к Луне, чем центр C Земли, то оно и притягивается к ней сильнее, чем тело в точке C ; следовательно, оно и будет приближаться к ней быстрее, чем тело в точке C . Отсюда с необходимостью следует, что тело A удаляется от центра C по направлению к Луне. Подобным же образом, если бы имелись две повозки в A и в C и повозка в A притягивалась к L с большей силой, чем повозка в C , то повозка A отделилась бы от повозки C , из этого явствует, что сила притяжения Луны стремится удалить точку A от центра C . Но удалить тело от центра Земли — это то же самое, что приподнять его. И поскольку здесь речь идет о воде, которая находится в A , то нет сомнения, что Луна стремится приподнять воду в A , причем с силой, равной избытку силы, притягивающей к Луне точку A , над силой, притягивающей центр C . Именно с такою

силой Луна приподнимает воду, находящуюся непосредственно под нею на поверхности Земли.

Теперь рассмотрим также тело, находящееся в точке B , прямо противоположной точке A . Поскольку это тело слабее притягивается Луной, чем подобное же тело, расположенное в центре C Земли, то этот центр больше приблизится к Луне, чем точка B , которая, если можно так выразиться, отстанет подобно повозке, которая двигалась бы медленнее, чем идущая впереди. В результате точка B отдастся от центра C и приподнимется, ибо удаление от центра Земли означает не что иное, как поднятие. Отсюда явствует, что Луна заставляет подниматься не только те воды, которые находятся в точке A , но и в прямо противоположной стороне, в точке B , причем последние — с силой, равной разности сил, влекущих к Луне точку B слабее, чем центр C .

Итак, те наблюдатели, которые находятся в точке A , видят Луну прямо над собой, т. е. в своем зените; те же, которые находятся в точке B , совсем не видят Луну, ибо она находится тогда на небе в точке, прямо противоположной зениту и называемой *надиром*. Отсюда очевидно, что в любом месте моря вода

должна подниматься, когда Луна находится в зените этого места, или же в его надире, или, вернее, тогда, когда она находится в самом высоком положении над горизонтом, или в самом низком под горизонтом. В промежуточный период, когда Луна находится на самом горизонте, в момент восхода или захода, она не вызывает никакого подъема воды; и даже напротив, тогда возникает некая небольшая противоположно действующая сила, которая стремится понизить уровень воды.

В соответствии с этой теорией, изложенной выше, в том месте моря, где Луна находится в зените, сила ее притяжения стремится поднять воду; приблизительно через 6 часов, когда Луна достигнет горизонта, та же ее сила вызывает опускание уровня воды. Далее, по истечении двенадцати часов 22 минут, когда Луна находится в самой низкой точке под горизонтом, она также оказывает воздействие, заставляющее воду подняться, а через 18 часов 33 минуты, когда Луна снова поднимется над горизонтом, произойдет понижение уровня воды, пока наконец по истечении 24 часов и 45 минут после первого срока Луна не вернется к зениту и не начнет вновь поднимать воду, как это и происходило накануне. Все это полностью согласуется с наблюдениями.

То, что чередующиеся повышения и понижения уровня воды в море происходят через интервалы в 6 часов 11 минут, столь точно соответствующие движению Луны, убеждает нас в том, что именно сила притяжения Луны является причиной морских приливов и отливов. Особенно примечательно то обстоятельство, что Луна оказывает одно и то же воздействие на море, а именно вызывает прилив, находясь как в самой высокой точке над горизонтом, так и в самой низкой точке под горизонтом. Это обстоятельство сначала показалось очень странным ученым, которые воображали, что Луна, когда она ниже горизонта, должна оказывать действие, противоположное тому, которое она производит, находясь в зените. Однако В. В. сможет легко понять, почему в этих двух прямо противоположных положениях Луна производит одинаковый эффект; ибо с помощью приведенного выше рисунка я показал, что действие Луны будет тем же в точке *A* и в точке *B*.

7 октября 1760 г.

Письмо 66

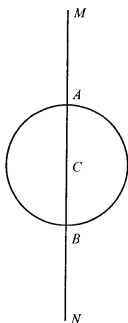
Продолжение

То, что я имел честь сообщить относительно приливов и отливов, убедит В. В. в том, что взгляды Ньютона, которым я следовал, прямо противоположны взглядам Декарта.

Согласно Декарту, Луна воздействует посредством давления, и, следовательно, море должно опускаться в местах, находящихся непосредственно под Луной; по мнению же Ньютона, Луна воздействует притяжением и вызывает

поднятие воды в тех местах, где, согласно Декарту, она должна бы опускаться. Итак, опыт позволит решить, какая из этих двух гипотез должна быть принята.

Довольно было бы свериться с данными наблюдений в открытом океане, чтобы узнать, поднимается или опускается вода в момент, когда Луна в этом месте находится в зените. Такие наблюдения действительно проводились, однако было замечено, что когда Луна находится в зените или надире данного пункта, то вода не высокая и не низкая. Полная вода наступает только через несколько часов после того, как Луна пройдет через зенит. Это обстоятельство позволило людям, не вникающим в суть проблем, прийти к выводу, что ни ту, ни другую гипотезу нельзя считать истинной. Картезианцы¹ получили из этого некоторое преимущество, полагая, что, поскольку гипотеза Ньютона отвергнута, гипотеза Декарта обязательно должна быть принята, хотя вышеупомянутое наблюдение не подтверждает ее, так же как на первый взгляд и мнение Ньютона. Однако гипотеза Декарта опровергается уже тем фактом, что море приходит в одно и то же состояние с интервалом в 12 часов 22 минуты, иными словами, для моря безразлично, находится ли Луна над или под горизонтом. Приверженцы Декарта не в состоянии объяснить, почему Луна, находясь над головой наших антиподов, может производить то же действие, как если бы она находилась прямо над нами. Нижеследующий рисунок наглядно нам это докажет.



Установлено наблюдениями, что уровень морской поверхности в точке *A* одинаков, когда Луна находится в точке *M*, т. е. в зените, или же в точке *N*, т. е. надире точки *A*, и, следовательно, в зените антиподов, находящихся в *B*. Следовательно, воздействие Луны на воду в точке *A* должно быть одинаково и в том и в другом случае. Если Луна действовала бы посредством давления, как это утверждал Декарт, то из этого следовало бы, что Луна, находясь в *M*, должна вызвать понижение воды в *A*, но если она находится в *N*, то невозможно, чтобы вода в *A* испытывала такое же давление.

Согласно же теории притяжения, напротив, действие Луны, без всякого сомнения, должно быть одинаковым, будь она в точке *M* или в точке *N*, что и подтверждается наблюдениями.

Здесь уместно вспомнить то объяснение, которое я приводил ранее и считаю нужным повторить ввиду его особой важности. Когда Луна находится в точке *M*, точка *A* ближе к ней, чем центр *C*; следовательно, точка *A* притягивается сильнее, чем центр *C*; следовательно, точка *A* удалится от центра и поднимется; следовательно, Луна, находясь в точке *M*, стремится поднять воду в пункте *A*.

Посмотрим теперь, что произойдет, когда Луна будет находиться в точке *N*, которой она достигнет через 12 часов 22 минуты после того, как пройдет

через *М*. Поскольку точка *А* более удалена от Луны, находящейся в *Н*, чем центр *С*, притягиваться она будет слабее. В результате центр *С* приблизится к *Н* быстрее, чем точка *А*. Расстояние *АС* увеличится и, следовательно, точка окажется более удаленной от центра *С*. Удаление же от центра Земли равнозначно подъему. Вследствие этого Луна, находясь в точке *Н*, заставляет подниматься точку *А*, иными словами, стремится поднять воду, находящуюся в *А* точно так же, как если бы Луна находилась в *М*. Опыт, однако, выдвигает существенное возражение против этого утверждения, ибо, согласно наблюдениям, когда Луна находится в *М* или *Н*, вода в *А* не достигает своего самого высокого уровня; она доходит до него только некоторое время спустя.

На этом основании некоторые ученые без колебаний отвергли приведенное выше объяснение. Но В. В. легко поймет, что такое суждение опрометчиво. Я не утверждал, что, когда Луна находится в *М* или в *Н*, вода в *А* достигает своего наивысшего подъема; я просто говорил, что сила притяжения Луны заставляет тогда воду подниматься; но вода не может подняться в *А* так, чтобы общее ее количество не увеличилось. Следовательно, нужно, чтобы вода прибыла из других мест, в том числе весьма удаленных. Но для того чтобы собралось достаточное количество воды, требуется время. Поэтому естественно, что полная вода в *А* наступит только через некоторое время после того, как Луна пройдет через точку *М* или точку *Н*.

Таким образом, это наблюдение не только не опровергает нашу теорию, но, наоборот, подтверждает ее. Нет сомнения, что действие силы, поднимающей воду, должно предшествовать максимальному подъему воды, и даже на значительный промежуток времени, ибо вода должна прибыть из весьма удаленных мест, т. е. тех, где она на низком уровне, в то время как в *А* она находится на высоком. Если вода должна пройти через проливы или если она встречает на своем пути некоторые препятствия, полная вода соответственно наступит еще позже. Если в океане полная вода наступает в месте *А* через два часа после того, как Луна пройдет через точки *М* или *Н*, то в морях, стесненных берегами, она пройдет не ранее, чем через три часа; и это полностью согласуется с данными наблюдения.

11 октября 1760 г.

Письмо 67

Продолжение

У В. В. не может больше оставаться никаких сомнений, что причиной морских приливов и отливов является сила притяжения Луны. Однако остается разрешить еще одну трудность, а именно то, что движение морских вод значительно усиливается в периоды новолуний и полнолуний по сравнению с четвертями Луны. Если бы Луна в новолуние или полнолуние под-

ходила бы ближе к Земле, чем в промежутках между ними, то не возникало бы никаких затруднений, поскольку на более близком расстоянии сила притяжения Луны возрастает. Однако хотя Луна то приближается к Земле, то удаляется от нее, разница в расстояниях никогда не бывает столь велика, чтобы существенно повлиять на амплитуду морского прилива и отлива. Кроме того, эти изменения расстояний не зависят от периодов новолуния и полнолуния, ибо может случиться так, что Луна, находясь в какой-либо из четвертей, подойдет ближе к Земле, чем во время полнолуния или новолуния. Следовательно, нужно искать другую причину увеличения амплитуды приливов и отливов в периоды новолуния и полнолуния и уменьшения их, когда Луна видна в какой-либо четверти.

Теория притяжения позволяет нам обнаружить эту причину. Это — сила притяжения Солнца, которая в сочетании с силой притяжения Луны позволяет нам объяснить все явления, связанные с морскими приливами и отливами.

И в самом деле, все, что я говорил относительно силы притяжения Луны, вызывающей перемещение воды в море, применимо и к Солнцу, сила притяжения которого также действует на все части Земли, причем притягиваются сильнее те, которые находятся ближе, чем те, которые дальше.

Сила притяжения Солнца даже во много раз превосходит силу притяжения Луны, ибо солнечное притяжение управляет движением Земли и заставляет ее двигаться по ее орбите.¹

Что же касается перемещения воды, вызываемого Солнцем на море, то оно обусловлено тем, что силы притяжения, действующие на различные части Земли, неодинаковы, поскольку различные точки на поверхности Земли могут больше или меньше притягиваться к Солнцу, чем ее центр, как я уже показал при объяснении действия Луны. В самом деле, если бы все части Земли притягивались одинаково, то в их взаимном расположении не происходило бы никаких изменений. Хотя сила притяжения Солнца значительно превосходит силу притяжения Луны, различия в ее воздействии на разные части Земли, несмотря на это, будут меньше. Это обусловлено огромным расстоянием, отделяющим Солнце от Земли и примерно в 300 раз превышающим расстояние от нас до Луны; поэтому разница между тем, с какой силой Солнце притягивает центр Земли и отдельные точки ее поверхности, крайне невелика; путем вычисления удалось определить, что эти различия примерно в три раза меньше, чем различия между силами притяжения, исходящими только от Луны. Отсюда явствует, что одна сила притяжения Солнца была бы способна вызвать морской прилив и отлив, но он был бы в три раза слабее, чем тот, который обусловлен действием Луны.

Итак, очевидно, что морской прилив и отлив — это результат совместного действия как силы притяжения Луны, так и силы притяжения Солнца и что в действительности существует два прилива: один — вызванный Луной и называемый лунным, и другой — вызванный Солнцем и называемый солнечным.

Лунный прилив, почти в три раза более сильный, следует за движением Луны и ото дня на день запаздывает на $\frac{3}{4}$ часа. Тот же прилив, который следует за движением Солнца, возвращался бы постоянно в одни и те же часы, если бы он был сам по себе, т. е. если бы Луны не существовало. Эти два прилива, лунный и солнечный, совокупно вызывают повышение и понижение воды в море, которые мы и наблюдаем в действительности. Но поскольку один и другой по отдельности заставляют уровень воды в море постепенно то подниматься, то опускаться, то в случае, если они действуют в одном направлении, это приводит к соответствующему усилению прилива и отлива. Когда же один из них стремится вызвать подъем воды, а другой в том же самом месте заставляет ее отступать, то действие одного будет препятствовать другому и в результате перемещение воды, вызванное лунным приливом, уменьшится под воздействием солнечного.

Итак, в зависимости от того, действуют ли две силы притяжения согласно или же одна противоположна другой, прилив и отлив будут соответственно сильнее или слабее. Но поскольку во время новолуния Солнце и Луна находятся в одной части неба, то действия их полностью согласны; движение воды в море достигает наибольшей силы, ибо оно становится равным сумме сложения двух приливных сил. То же самое происходит в период полнолуния, когда Луна находится на стороне, противоположной Солнцу, ибо, как нам известно, Луна оказывает одно и то же воздействие, находясь в двух противоположных точках на небе. Следовательно, приливы и отливы должны быть наибольшими как при новолунии, так и при полнолунии. Когда Луна находится в первой и последней четверти, происходит обратное. В то время как приливная сила Луны вызывает подъем воды, Солнце заставляет ее отступать, и наоборот. Отсюда ясно, что в эти периоды приливы и отливы должны быть наименее сильными, что и подтверждается наблюдениями.

Также с помощью вычислений можно показать, что действие как Луны, так и Солнца несколько не усиливается, когда эти небесные тела находятся в экваторе неба, т. е. на равном расстоянии от обоих полюсов мира, что происходит в период равноденствий, в конце марта и сентября. И в самом деле, именно в это время года приливы бывают наиболее яростными.

Итак, не остается ни малейшего сомнения, что морские приливы и отливы обусловлены силами притяжения и Луны, и Солнца, поскольку эти силы действуют неодинаково на разные части моря.

Успешным объяснением этого явления, которое некогда столь озадачивало наших предков, полностью подтверждается закон всемирного тяготения, на котором основано движение всех небесных тел.

Письмо 68

*Более подробное изложение спора философов
о причине всемирного тяготения*

После того как я смог дать В. В. общее, но законченное представление о силах, вызывающих важнейшие явления во Вселенной и лежащих в основе движения всех небесных тел, пора приступить к более подробному рассмотрению этих сил, действующих согласно теории всемирного тяготения.

Предполагается, что все тела взаимно притягивают друг друга с силой, соответствующей их массе и расстоянию между ними, в соответствии с законом, который я имел честь объяснить В. В. Успешное объяснение многих природных явлений убедительно доказывает обоснованность этого положения, так что можно считать взаимное притяжение тел фактом, не подлежащим сомнению. Теперь нам остается установить истинный источник сил притяжения, что является задачей скорее метафизики, нежели математики; я не льщу себя надеждой, что и в решении этого вопроса добьюсь успеха, подобного описанному выше.

Поскольку известно, что любые два тела притягивают друг друга, возникает вопрос, какова же причина этого взаимного тяготения? Здесь существуют самые различные мнения. Английские ученые утверждают, что притягивать друг друга — основное свойство всех тел, своего рода природная склонность, влекущая все тела друг к другу и заставляющая их приближаться, как если бы их побуждало к этому какое-нибудь чувство или желание.¹ Другие ученые считают такое мнение абсурдным и противоречащим принципам рациональной философии. Они не отрицают самого факта — они даже согласны с тем, что в мире действительно существуют силы, толкающие тела друг к другу. Но они убеждены, что эти силы действуют на тела извне, что источником их является эфир² — тончайшая материя, окружающая все тела, подобно тому как некое тело, погруженное в жидкость, приходит в движение, подвергаясь многократным воздействиям этой последней.

Итак, по мнению первых, причина тяготения содержится в самих телах, присуща их природе. Для других эта причина находится вне тел, в окружающей их текучей тонкой субстанции. В последнем случае само слово «притяжение» окажется малоподходящим; скорее, уместно было бы сказать, что тела подталкиваются друг к другу. Однако, поскольку результат один и тот же независимо от того, подталкиваются ли два тела навстречу друг другу или же взаимно притягиваются, слово «притяжение» не должно нас смущать, если только это слово не претендует на то, чтобы раскрыть саму природу явления. Чтобы избежать путаницы, которую может вызвать неудачное применение слова, следовало бы говорить, что все тела в мире движутся одно к другому так, как если бы они взаимно притягивали друг друга. При этом остался бы праздным вопрос, в самих ли телах содержатся силы, действующие на них, или же они

находятся вовне. Такой способ выражаться мог бы удовлетворить обе противостоящие стороны.

Рассмотрим теперь тела, которые мы встречаем на поверхности Земли. Никто не усомнится в том, что все они падают вниз, когда их ничто не поддерживает; весь вопрос, следовательно, в том, отчего они падают. Одни говорят, что это Земля притягивает их к себе силой, присущей самой ее природе. Другие утверждают, что это эфир, или другая субстанция, тонкая и невидимая, толкает тела вниз; и в том и в другом случае действие будет одним и тем же. Последнее мнение больше привлекает тех, кто отстаивает принципы разумной ясности в философии, ибо они не могут допустить, чтобы два удаленных друг от друга тела воздействовали друг на друга, если между ними нет никакой материи. Другие ссылаются на всемогущество Божье, утверждая, что Бог одарил все тела способностью к взаимному притяжению. Опасно спорить по поводу того, что мог бы сделать Бог; тем не менее не приходится сомневаться, что если бы притяжение было результатом непосредственного вмешательства всемогущего Божества, а не было присуще самой природе вещей, то можно было бы с таким же основанием считать, что Бог сам каждый раз толкает тела друг к другу; в таком случае мы были бы свидетелями непрекращающихся чудес.

Предположим, что до сотворения мира Бог создал только два тела, удаленные друг от друга, что вне их не было ничего и что эти два тела были неподвижны. Возможно ли было бы тогда, чтобы одно из них приблизилось к другому или обнаружило стремление к такому сближению? Каким образом одно почувствовало бы присутствие другого, находящегося в отдалении? Как возникло бы у него стремление сблизиться? Такие мысли противоречат здравому смыслу. Но если предположить, что пространство между телами заполнено тончайшей материей, то становится понятно, что эта материя может воздействовать на тела, толкая их друг к другу, причем результат будет таким же самым, как если бы они взаимно притягивали друг друга. И поскольку нам известно, что все пространство между небесными телами заполнено тончайшей материей, называемой эфиром, то, вместо того чтобы ссылаться на какое-то непонятное свойство, не разумнее ли приписать взаимное тяготение тел действию эфира, хотя способ, которым это осуществляется, нам неизвестен.

Древние философы довольствовались тем, что объясняли природные явления действием неких свойств, называемых ими тайными. Так, они говорили, например, что опиум усыпляет человека благодаря тайному свойству, которое делает его способным наводить сон. То было желание скрыть свое незнание, и оно, конечно, ничего не объясняет. Нужно было бы, следовательно, и притяжение считать тайным свойством, поскольку его рассматривают как основное свойство всех тел. Но поскольку теперь стремятся изгнать из науки само понятие «скрытых качеств», то такое понимание притяжения должно быть также отвергнуто.³

Письмо 69

*О природе и основных свойствах тел,
или же о протяженности, подвижности
и непроницаемости тел*

Метафизический диспут о том, могут ли тела обладать неким внутренним свойством, заставляющим их притягивать друг друга без участия какой-либо внешней силы, не может быть решен, если не подвергнуть обсуждению вопрос о самой природе тел. Поскольку вопрос этот имеет крайне важное значение, и не только для математики и физики, но и для всей философии в целом, В. В. не сочтет предосудительным, если я уделю некоторое внимание этому сюжету.

Прежде всего спросим, что есть тело? Каким бы странным ни казался этот вопрос, поскольку каждому ясно различие между тем, что является телом и что им не является, тем не менее трудно определить истинные признаки, характеризующие природу тел. Картезианцы утверждают, что сущность тел сводится к их протяженности, поэтому все, что имеет протяженность, является телом. Под протяженностью они подразумевают три измерения; хорошие геометры, они знают, что одно измерение, или же протяженность в длину, дает только линию, а два измерения, т. е. только длина и ширина, образуют поверхность, которая еще не составляет тела. Итак, всякое тело должно иметь три измерения, т. е. длину, ширину и высоту, или толщину (иными словами, протяженность в трех измерениях). Однако в то же время возникает вопрос, все ли, что имеет эти три измерения, является телом? Это было бы так, если считать определение Декарта правильным.

Представление о привидениях, которое бытует в народе, включает в себя понятие протяженности, однако что они являются телами — отрицается.¹ Хотя такое представление не больше чем плод воображения, оно, однако, может служить доказательством того, что нечто может обладать протяженностью, не будучи в то же время телом. Кроме того, наше представление о пространстве предполагает наличие протяженности в трех измерениях, но, несмотря на это, все согласятся, что само по себе пространство еще не составляет тела. Оно — только место, которое занимают и заполняют тела.

Предположим, что все предметы, которые находятся сейчас в моей комнате, и даже воздух, заполняющий ее, — велением Божиим будут превращены в ничто. Моя комната сохранит ту же длину, ширину и высоту, хотя в ней не будет содержаться ни единого тела. Вот во всяком случае пример того, что протяженность может существовать, не будучи телом.

Подобное пространство, не содержащее тел, называется пустотой; следовательно, пустота — это протяженность без тела. Поэтому можно сказать,

следуя суеверным представлениям простонародья, что привидение, например, имеет протяженность, но не обладает телесностью. Отсюда ясно, что мало иметь протяженность, требуется еще что-то, чтобы образовать тело; а следовательно, определение картезианцев не может нас удовлетворить.

Но что же требуется еще, помимо протяженности, чтобы образовать тело? На это отвечают, что необходима подвижность или способность быть приведенным в движение. Ибо, даже если тело будет находиться в покое и твердо стоять на месте, тем не менее его можно сдвинуть, употребив на это некоторую силу. Тем самым пространство исключается из категорий тел, поскольку понятно, что пространство, которое только вмещает в себя тела, само остается недвижно, каково бы ни было перемещение тел, которые в нем находятся.

Говорят также, что благодаря движению тела переносятся из одного места в другое; этим как бы дают понять, что место и пространство остаются неизменными. Однако моя комната, если предположить, что она пуста, сможет быть приведена в движение. И действительно, она движется, потому что следует движению Земли. Итак, перед нами пустота, которая движется, хотя она и не является телом. Суеверные люди также приписывают движение привидениям; все это убеждает нас в том, что одна только подвижность и протяженность еще не составляют природы тела.

Нужно что-то еще, а именно материя, которая и образует тело, или, вернее, материей называют то, что отличает реально существующее тело от простой протяженности или от привидения.

Так мы подошли к необходимости объяснить, что такое материя, без которой протяженность не является телом. Но поскольку эти два слова означают одно и то же, т. е. всякое тело есть материя, а всякая материя есть тело, то мы не продвинулись вперед ни на шаг.

Однако можно легко обнаружить общее свойство, присущее всякой материи, а следовательно, и всякому телу: это *непроницаемость*, под которой подразумевается невозможность одного тела проникнуть в другое, т. е. невозможность для двух тел занимать одновременно одно и то же место.

И действительно, именно непроницаемости не хватает пустоте, а также привидениям — поэтому они и не являются телами. Если привидение, хотя и воображаемое, обладало бы непроницаемостью, т. е. если нельзя было бы просунуть через него руку, не встретив при этом какого-то препятствия, тогда мы могли бы без колебаний отнести это привидение к разряду тел; но, считая его проницаемым, отрицают тем самым его телесность.

Может быть, на это возразят, что можно двигать рукой в воде или в воздухе, хотя они считаются настоящими телами, следовательно, это проницаемые тела, а, значит, непроницаемость не является обязательным свойством всех тел. Однако здесь надо отметить, что, когда мы опускаем руку в воду, частицы воды уступают место руке, и там, где находится рука, уже больше нет воды. Если бы рука могла пройти сквозь воду так, чтобы вода не отступила и осталась в

том же самом месте, где находится рука, тогда можно было бы считать воду проницаемой; однако очевидно, что этого не происходит. Итак, все тела непроницаемы, иными словами, одно тело всегда вытесняет все другие тела из того места, которое оно занимает. И как только другое тело проникает туда, необходимо, чтобы первое уступило ему место. Именно так следует понимать термин «непроницаемость».

21 октября 1760 г.

Письмо 70

О непроницаемости тел в особенности

Выдвинутая мною идея непроницаемости тел, может быть, вызовет у В. В. желание мне возразить, сославшись на пример губки: погруженная в воду, она кажется насквозь пропитанной водой. Однако трудно предположить, чтобы все части губки настолько прониклись водой, что какая-нибудь частица воды оказалась бы с частицей губки в одном и том же месте. Известно, что губка — очень пористое тело, и до погружения в воду ее поры наполнены воздухом. Как только вода проникнет в поры губки, она вытеснит оттуда воздух, который поднимется вверх в виде пузырьков. Таким образом, в этом случае не происходит никакого проникновения ни воздуха в воду, ни воды в воздух, поскольку последний всегда уходит из того места, куда прибывает вода.

Итак, непроницаемость является общим и существенным свойством всех тел, а потому следует признать правильность определения, согласно которому телу присущи непроницаемость и протяженность: не только все тела имеют протяженность и непроницаемы, но и наоборот, все, что имеет объем и в то же время непроницаемо, является без всякого сомнения телом. Таким образом, пустота исключается из категории тел, ибо она обладает протяженностью, но лишена непроницаемости; там, где имеется пустота, можно поместить любые тела и ничто не будет вытеснено со своего места. Привидение, при всем том что оно есть плод фантазии, также исключается из категории тел именно из-за своей проницаемости; ибо если вообразить, что привидение непроницаемо, следовало бы отнести его к категории тел.

Нужно устранить также и другое затруднение, которым пользуются как аргументом против непроницаемости тел. Так, говорят, что существуют тела, которые можно сжать, уменьшая объем, как например шерсть и в особенности воздух. Нам известно, что воздух можно сжать в пространство, в тысячу раз меньшее. При этом представляется, что многие частицы воздуха сосредоточиваются в одном и том же месте, и, следовательно, проникают друг в друга. Однако это не так, ибо воздух — это тоже тело или материя, пронизанная порами, либо пустыми, либо тончайшей текучей субстанцией,

называемой эфиром. В первом случае не произойдет никакого взаимопроникновения, так как частицы воздуха только больше приблизятся друг к другу, уменьшив тем самым пустые промежутки между ними. А во втором случае эфир найдет потребное количество маленьких проходов, чтобы вырваться из пор, когда их сжимают и частицы воздуха сближаются, не проникая, однако, друг в друга и в этом случае. Именно по этой причине приходится применять большую силу, когда желательно достичь большего сжатия воздуха. И если было бы возможно сжать его до такой степени, чтобы все его частицы пришли в соприкосновение, тогда дальнейшее сжатие было бы невозможным, какую бы мы ни применили силу, по той причине, что большее сжатие смогло бы произойти при условии, что материя воздуха проникла бы в самое себя.¹

Итак, будем считать обязательным и основополагающим законом природы то, что два тела не могут взаимно проникнуть друг в друга или вписаться в одном и том же пространстве. Именно следуя этому закону, надобно искать истинный источник всех движений и изменений всех тел, наблюдаемых нами в природе. Если только два тела не могут продолжать свой путь, не проникнув друг в друга, совершенно необходимо, чтобы одно уступило место другому. Так, когда два тела движутся по одной прямой линии, одно слева, а другое справа, как это часто бывает на бильярде, то, если движение их продолжилось бы, они должны были бы проникнуть друг в друга. Но так как это невозможно, то, как только эти два тела придут в соприкосновение, произойдет удар, от которого движение каждого тела изменится в одно мгновение; подобные толчки имеют место в природе только для того, чтобы предотвратить проникновение. Движение каждого тела изменяется только постольку, поскольку это необходимо, чтобы воспрепятствовать какому бы то ни было проникновению; и именно в этом кроется истинная причина всех перемен, происходящих в мире. Если внимательно присмотреться ко всем этим изменениям, то всегда обнаружим, что они происходят с целью предотвратить какое-нибудь проникновение, которое произошло бы, не будь этих изменений.

В то самое время, когда я пишу эти строки, я замечаю, что, если моя бумага была бы проницаемой, мое перо свободно прошло бы через нее, ничего не написав. Но поскольку бумага выдерживает нажим моего пера, которое я обмакнул в чернила, то на ней остается какая-то часть чернил, выводящих эти буквы. Это не могло бы произойти, если бы тела были проницаемы.

Итак, свойство всех тел, называемое непроницаемостью, чрезвычайно важно для наших знаний не только само по себе: оно заключает в себе некую побудительную причину событий, происходящих в природе. Поэтому необходимо изучить самым тщательным образом это свойство, чтобы можно было объяснить В. В. как саму природу тел, так и принципы их движений, иными словами, законы движения, столь превозносимые учеными.

25 октября 1760 г.

Письмо 71

*О движении и покое
истинном и кажущемся*

Всякое тело находится в покое либо в движении.¹ Хотя это различие и кажется очевидным, почти невозможно определить, в котором из этих двух состояний находится то или иное тело. Мне, например, кажется, что бумага у меня на столе лежит неподвижно. Но если принять во внимание, что вся Земля движется с той огромной скоростью, о которой я уже имел честь говорить В. В., то придется признать, что и мой дом со столом и с этой бумагой также должны быть вовлечены в это движение. Таким образом, все, что пребывает, как нам кажется, в покое, на самом деле движется вместе с Землей. Нужно отличать истинный покой от покоя кажущегося.

Истинный покой предполагает, что тело пребывает в одном и том же месте, но не относительно Земли, а относительно Вселенной. Таким образом, если неподвижные звезды всегда находились бы в одних и тех же местах во Вселенной, они были бы в состоянии покоя (хотя нам и кажется, что они очень быстро движутся). Но поскольку мы в этом не уверены, нельзя утверждать, что неподвижные звезды находятся в состоянии истинного покоя.

Кажущийся покой будет тогда, когда тело сохраняет одно и то же положение на Земле; тогда про него говорят, что оно находится в покое, но под этим следует подразумевать покой кажущийся. Надо думать, что слова «покой» и «движение» появились в языке для обозначения скорее видимого, чем подлинного состояния, и в этом смысле я могу смело утверждать, что мой стол, так же как и вся Земля, находится в покое и что Солнце и все неподвижные звезды движутся, причем крайне быстро, хотя на самом деле, возможно, что они пребывают в состоянии покоя. Если пользоваться этими словами, подразумевая под ними истинный покой и истинное движение, то тем самым мы придаем чуждый им, чисто философский смысл. Нелепо, как это делают некоторые, приводить выдержки из Св. Писания в доказательство того, что Земля неподвижна, а Солнце движется.² Все языки существуют для всеобщего употребления их народами, а философы вынуждены создавать для себя особый язык. Не имея возможности вынести надлежащее суждение об истинном покое, мы вполне естественно полагаем, что находятся в покое те тела, которые сохраняют одно и то же положение относительно Земли; и вполне вероятно, что обитатели других планет считают неподвижностью сохранение телами прежнего состояния относительно их планеты.

Нам известно, что те, кто путешествует морем, считают неподвижными предметы, сохраняющие одинаковое положение относительно их корабля, тогда как открывающиеся перед ними берега кажутся им движущимися; нельзя упрекнуть их за то, что они прибегают к такому способу выражения.

Итак, существует большое различие между покоем и движением истинным, или абсолютным, и покоем и движением кажущимся, или относительным; в последнем случае мы рассматриваем тело как неподвижное, хотя, возможно, оно и движется. Принципы или законы движения относятся в основном к абсолютному состоянию тел, иными словами, к истинному, или абсолютному, покою и движению.

Чтобы установить эти законы, начинают с рассмотрения одного отдельного тела, оставляя без внимания все другие, как если бы их вовсе не было. Такая гипотеза, хотя и допускает невозможное, позволит нам отличить то, что истекает из самой природы данного тела, от того, что происходит под воздействием других тел.

Итак, возьмем одно изолированное тело, находящееся в покое. Спрашивается, останется ли оно в этом состоянии или же начнет двигаться? Поскольку нет никакой причины, которая побуждала бы его двигаться в одну сторону, а не в другую, заключаем, что оно будет пребывать в покое бесконечно. То же самое должно произойти и при наличии других тел, лишь бы только они не оказывали на данное тело никакого действия. Отсюда можно вывести следующий основной закон.

Когда тело находится в покое и вне его нет ничего, что могло бы на него воздействовать, то это тело будет всегда оставаться в покое; если же оно начало двигаться, то причина этого движения будет вне его, ибо в самом теле не заключается ничего, что способно было бы привести его в движение.

Поэтому, когда мы видим, что тело, находившееся в покое, начинает двигаться, мы можем быть уверены, что причиной этого движения явилась какая-нибудь внешняя сила, поскольку в самом теле нет ничего, что могло бы привести его в движение, и что, следовательно, это тело, если бы оно было само по себе и изолированным от любых других тел, всегда пребывало бы в покое.

Хотя этот закон имеет под собою твердое основание и может быть приравнен к математической истине, однако некоторые люди, не привыкшие вникать в сущность вещей, утверждают, что опыт противоречит этому закону. Они приводят в пример нить с подвешенным к ней камнем. Камень неподвижен, но если перерезать нить, он тотчас упадет. Неоспоримо, утверждают они, что само действие, посредством которого перерезается нить, не может сообщить камню никакого движения; следовательно, камень падает под действием какой-то внутренней присущей ему силы. Факт не подлежит сомнению, но столь же ясно, что причиной падения камня является тяжесть, а не заключенная в нем внутренняя сила. Однако эти люди упорствуют и говорят, что тяжесть и есть та сила, которая присуща самой природе камня. На это можно возразить, что тяжесть является результатом либо действия тончайшей материи, либо земного притяжения. В первом случае причиной падения камня является вышеупомянутая тончайшая материя. Во втором случае, который представляется более благоприятным для наших противников, также невозможно утверждать, что камень падает под действием внутренней силы: правильнее было бы ска-

зять, что Земля силой своего притяжения вызывает падение камня. Ибо если бы не было Земли, или если бы Земля лишилась силы притяжения, то камень не упал бы, с чем наши противники не могут не согласиться. Итак, в любом случае не подлежит сомнению, что причина падения камня не в самом камне, это всегда внешняя причина,³ заключающаяся либо в тончайшей материи, либо в Земле, если предположить, что Земля обладает силой притяжения, как это утверждают сторонники теории тяготения.

Итак, поскольку эта трудность устранена, сохраняет силу свою закон, о котором я сообщал выше, а именно: тело, пребывающее в покое, останется всегда в этом состоянии, если только не будет приведено в движение какой-либо посторонней силой. Этот закон действителен, даже если тело только одно мгновение пребывает в покое, а до этого находилось в движении. Приведенное в состояние покоя, оно никогда уже не выйдет из этого состояния, если только не возникнет какая-нибудь внешняя сила, которая придаст ему движение.

Поскольку этот закон лежит в основе всей науки механики, я считаю необходимым обосновать его самым тщательным образом.

28 октября 1760 г.

Письмо 72

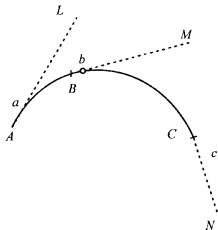
О равномерном движении и о движениях ускоренном и замедленном

Я вновь перехожу к рассмотрению тела, находящегося в таком положении, что оно не имеет связи ни с каким другим телом. Предположим, что это тело приведено в движение некоторой — безразлично какой — силой. Спрашивается, что же с ним после этого произойдет? Будет ли оно продолжать двигаться? Или же оно вновь придет в состояние покоя, сразу или спустя некоторое время?

В. В. должно быть понятно, что этот вопрос крайне важен и что от него зависят все наши исследования, касающиеся движения.

Посмотрим, сможем ли мы прийти к решению этого вопроса путем рассуждений. Поскольку покой — это пребывание тела в одном и том же месте, то движение — это переход из одного места к другому; когда тело перемещается с одного места на другое, говорят, что оно находится в движении. Во всяком движении следует различать два аспекта: направление и скорость. Направление указывает сторону, в которую движется тело; скорость — это общеизвестное понятие, обозначающее, что данное тело проходит в единицу времени большее или меньшее расстояние. Я уверен, что В. В. имеет об этом представление более верное, чем то, которое я мог бы предложить, прибегнув к более пространным объяснениям. Хочу только

отметить, что, пока тело придерживается одного и того же направления, оно движется по прямой, и, наоборот, пока тело движется по прямой, направление его остается неизменным. Но когда тело движется по кривой, оно беспрестанно меняет свое направление. Поэтому если какое-нибудь тело движется по кривой ABC , то, когда оно находится в точке A , его направление выражается малым отрезком Aa ; когда оно в точке B , его направление — малый отрезок Bb , а когда оно в точке C , его направление будет малый отрезок Cc . Продолжим эти малые отрезки пунктирными прямыми линиями, обозначенными AL , BM , CN . Мы говорим, что, когда тело проходит через точку A , его направлением является прямая линия AL , ибо, если тело сохраняло бы то же направление, которое у него было в точке A , оно двигалось бы по прямой AL . Отсюда ясно, что оно движется по кривой только потому, что его направление не пререстанно меняется. Равным образом, когда оно достигает точки B или точки C , направления, от которых оно отклоняется, обозначены прямыми линиями BM и CN .



Обратимся теперь к вопросу о скорости движения тела. В. В. должно быть ясно, что означает сохранение постоянной скорости: тело движется постоянно с одной и той же скоростью, т. е. проходит одинаковые расстояния в одинаковые промежутки времени. Такое движение называется *равномерным*. Например, если какое-нибудь тело движется так, что проходит всегда расстояние в десять футов за секунду, то такое движение называется равномерным. Если другое тело проходило бы двадцать футов за секунду, то его движение также было бы равномерным, но скорость его превышала бы вдвое скорость первого тела. То, что я сказал относительно равномерного движения, позволит легко понять, что же такое неравномерное движение; ибо, когда скорость тела меняется, его движение становится неравномерным. В частности, если скорость тела постепенно увеличивается, то движение называется *ускоренным*, а если она постепенно уменьшается, то движение называется *замедленным*. В последнем случае скорость может уменьшиться настолько, что тело в конце концов перестает двигаться.

После общих замечаний относительно скорости и направления я возвращусь к рассмотрению отдельного тела, которое, как мы предположили, приведено в движение какой-нибудь силой. Когда оно начало двигаться, оно получило, по-видимому, определенную скорость и определенное направление. Спрашивается, сохранит ли оно в дальнейшем то же направление и ту же скорость, или же испытает какое-нибудь изменение? Нельзя утверж-

дать, что в первый же момент оно остановится, ибо в этом случае не было бы совсем никакого движения; всякое движение предполагает какую-то длительность, сколь бы малой она ни была. Пока движение будет продолжаться, можно быть уверенным, что направление не изменится: и действительно, нельзя себе представить, по какой причине тело стало бы отклоняться от своего пути в одну сторону, а не в другую. Но поскольку ничто не происходит без причин, то данное тело будет все время сохранять одно и то же направление, иными словами, будет двигаться по прямой линии; это уже важный этап в решении предложенного вопроса.

Рассуждая таким же образом, устанавливаем, что скорость рассматриваемого мною тела также не может измениться; ибо для этого нужно, чтобы она увеличилась или уменьшилась. Однако нет никакой действующей силы, способной вызвать подобное изменение. Из этого заключаем, что тело продолжит свое движение с одинаковой скоростью и в том же направлении, т. е. по прямой линии, не отклоняясь никогда от своего пути и сохраняя ту же скорость. Итак, это движение будет совершаться всегда по прямой линии, с одинаковой скоростью, без всякого замедления: следовательно, тело никогда не придет в состояние покоя.

То, что я говорил относительно одного отдельного тела, применимо и к нашей Вселенной; с ним происходило бы то же самое, если бы другие тела не оказывали никакого воздействия, поскольку в этом случае они как бы не существовали.

Итак, вопрос можно считать решенным: движущееся тело будет продолжать это движение в том же направлении и с одинаковой скоростью, если только не возникнет какая-нибудь внешняя причина, способная нарушить движение. Следовательно, до тех пор пока тело не подвергнется действию какой-нибудь внешней силы, оно будет пребывать в покое, если оно уже находилось в этом состоянии, или же будет двигаться по прямой линии с одинаковой скоростью, если однажды его привели в движение. Это — первый и основной закон природы, на котором должна быть основана вся наука о движении. Отсюда следует прежде всего сделать следующий вывод: каждый раз, когда мы видим, что тело, находившееся в покое, пришло в движение, или что тело следует по кривой, или что оно движется с переменной скоростью, мы можем быть уверены, что тело подвергается действию какой-то внешней силы. Без участия внешней силы не может произойти никакого изменения ни в направлении, ни в скорости.

Письмо 73

*Об основном законе движения и покоя
и о спорах философов по этому вопросу*

Как бы надежно ни был обоснован закон, согласно которому всякое тело, приведенное в движение, продолжает двигаться по тому же направлению и с одинаковой скоростью, если только какая-нибудь внешняя сила не нарушит это движение, — этот закон тем не менее подвергается нападкам со стороны некоторых ученых, никогда не достигавших сколь-либо значительных успехов в науке о движении, между тем как те, кому мы обязаны всеми великими открытиями в этой области, единодушно признают, что все их исследования основаны исключительно на этом законе.

К противникам закона относятся две группы ученых, возражения которых я собираюсь здесь привести и опровергнуть.

Одни говорят, что всем телам присуща некая природная склонность к покою,¹ что покой является их естественным состоянием и что движение является как бы насилием над их природой; вследствие этого, когда тело приводится в движение, естественная склонность заставляет его остановиться; оно стремится остановиться, хотя никакая внешняя или посторонняя сила не побуждает его к этому.

В подтверждение своего мнения они ссылаются на повседневный опыт, который считают весьма убедительным, а именно на то, что мы не знаем в природе ни одного движения, в котором не проявлялось бы очень явно это естественное противодействие перемещению. Разве мы не видим, говорят они, что на бильярде, как бы сильно мы ни толкнули шар, его движение довольно быстро начинает замедляться и вскоре совсем прекращается. То же можно сказать и про часы, которые останавливаются, если их не завести, т. е. не поддержать движение внешним вмешательством. Вообще мы видим, что работа любых механизмов длится только до тех пор, пока действуют внешние силы, приводящие их в движение. Отсюда делается вывод, что тело, приведенное в движение, не только не стремится его сохранить в соответствии со своей природой, но, наоборот, противится этому, и требуется приложить силу извне, чтобы это движение поддержать. Если бы этот вывод был правилен, то закон, о котором шла речь, оказался бы, как легко поймет В. В., полностью неопровергнут. Ибо, согласно этому закону, и бильiardный шар, и вышеупомянутые механизмы, однажды приведенные в движение, будут его сохранять, если только из-за внешних причин не произойдет каких-либо изменений в этом движении.

Итак, если при упомянутых опытах не существовало бы внешних причин, останавливающих движение, мы вынуждены были бы отказаться от нашего закона. Но, внимательно изучив все обстоятельства, мы обнаружили такое множество факторов, противодействующих движению, что столь быстрое его

прекращение уже не сможет нас удивить. И в самом деле, на бильярде движение шара тормозится в первую очередь трением, так как шар, когда он катится, трется о сукно. Далее, воздух, поскольку он тоже материален, оказывает также некоторое сопротивление, способное замедлить движение тел. Нужно только быстро провести рукой в воздухе, чтобы почувствовать его сопротивление. Отсюда ясно, что в случае с бильярдом трение и сопротивление воздуха препятствуют движению шара и в конце концов заставляют его остановиться. Причины эти — внешние, и понятно, что, если бы их не существовало, движение шара продолжалось бы бесконечно. То же самое можно сказать и о любых механизмах, где трение, действующее на все их части, столь значительно, что может привести к прекращению движения.

Установив подлинные причины, которые в упомянутых случаях останавливают движение, и выяснив, что они по отношению к движущемуся телу являются посторонними и внешними, приходим к выводу, что представление о природном стремлении тел к покою ошибочно. Следовательно, наш закон остается в силе и даже приобретает после того, как были опровергнуты вышеупомянутые возражения, дополнительное обоснование.

Итак, всякое тело сохраняет свое движение постоянным, если только не возникнут внешние причины, заставляющие его переменить направление или скорость, или то и другое вместе. Таким образом, мы опровергли возражения одной части противников, которые оспаривали наш закон.

Другие наши противники более опасны, ибо это — знаменитые вольфианцы.² Они не нападают прямо на наш закон и даже обнаруживают почтительное к нему внимание, но предлагают другие законы, прямо ему противоречащие. Они утверждают, что всякое тело по своей природе постоянно стремится изменить свое состояние.³ Иными словами, когда оно в покое, оно силится прийти в движение, а когда оно движется, то беспрестанно стремится переменить скорость и направление. Чтобы доказать это положение, они не приводят никаких аргументов, а только некие беспочвенные рассуждения, извлеченные из их метафизики, с которой у меня еще будет случай познакомить В. В. Я хочу только отметить, что их мнение противоречит закону, обоснованному выше столь убедительно, а также опыту, полностью согласующемуся с этим законом.

Действительно, если справедливо, что тело, находящееся в покое, пребывает в нем в соответствии со своей природой, то неверно, что оно стремится изменить свое состояние опять-таки в соответствии со своей природой. Равным образом если не подлежит сомнению, что движущееся тело стремится соответственно своей природе сохранить постоянными направление и скорость, то неверно, что то же самое тело также согласно своей природе беспрестанно силится изменить характер своего движения.

Следовательно, эти ученые, отстаивая одновременно и истинный закон движения, и свое абсурдное мнение, сами себе противоречат и тем самым опровергают собственные научные взгляды.

Итак, неопровержимо, что наш закон находит свое надежное обоснование в самой природе вещей и все противоречащее ему должно быть изгнано из подлинной науки. Тот же закон позволяет нам избавить науку от множества обманчивых представлений.

Этот закон выражается обычно двумя положениями. Первое гласит: *всякое тело, находящееся в покое, пребывает в этом состоянии бесконечно, если только какая-либо внешняя или посторонняя сила не сообщит ему движение*. Второе гласит: *всякое тело, находящееся в движении, будет постоянно сохранять это движение в том же направлении и с той же скоростью, т. е. будет двигаться равномерно и по прямой линии, если только какая-либо внешняя или посторонняя сила не изменит это движение*.

Именно на этих двух положениях основана наука о движении, называемая механикой.⁴

4 ноября 1760 г.

Письмо 74

Об инерции тел и о силах

Подобно тому как о теле, пребывающем в покое, говорят, что оно находится в одном и том же состоянии, так и относительно движущегося тела, поскольку оно движется, не меняя своей скорости и направления, говорят, что состояние его остается неизменным. Таким образом, находиться в одном и том же состоянии означает не что иное, как сохранять либо неподвижность, либо неизменный характер движения. Таким способом изложения пользуются для того, чтобы вкратце передать суть вышеуказанного великого принципа, по которому всякое тело, согласно со своей природой, не меняет своего состояния, пока какая-либо посторонняя сила не подействует на него, либо приведя его в движение (если оно находится в покое), либо изменив характер его движения.

Не следует думать, что сохранение одного и того же состояния означает пребывание тела в одном и том же месте. Это справедливо лишь только для того случая, когда тело находится в покое; но если оно движется в неизменном направлении и с постоянной скоростью, про него также можно сказать, что оно сохраняет свое состояние, хотя и непрерывно перемещается. Это замечание я счел уместным привести, чтобы нельзя было смешивать перемену места с переменной состоянием.

Теперь, если нас спросят, почему тела пребывают в одном и том же состоянии, нужно ответить, что такова их природа. Все тела, поскольку они состоят из материи, обязательно обладают свойством пребывать в одном и том же состоянии, если только какая-нибудь посторонняя сила не выведет их из этого состояния. Следовательно, это — свойство, заложенное в самой

природе тел. И благодаря этому свойству они стремятся сохранить одно и то же состояние, будь то покой или же движение. Это свойство, которым наделены все тела, называется *инерцией*;¹ оно столь же присуще всякому телу, как протяженность и непроницаемость; и поэтому невозможно представить себе тела, лишенного инерции.

Слово *инерция* было вначале введено в науку теми, кто утверждал, что всякое тело стремится к покою. Они уподобляли тела ленивым людям, предпочитающим отдых работе, и приписывали материальным телам некое отвращение к движению, подобное той неприязни, которую испытывают ленивые люди к труду. Слово «инерция» означало примерно то же самое, что «леность». Хотя с тех пор уже удостоверились в ошибочности такого мнения и признали, что тела стремятся сохранить свое состояние равным образом и в покое, и при движении, то же слово *инерция* осталось для обозначения общего свойства всех тел не изменять своего состояния, будь то покой или движение. Инерцию следует представлять себе как некое «отвращение» ко всему, что может принудить тела изменить их состояние; ибо поскольку тело в соответствии со своей природой сохраняет состояние движения или покоя и его могут вывести из этого состояния только внешние причины, то, следовательно, чтобы изменить свое состояние, тело должно подвергнуться действию какой-то внешней силы; в противном случае оно пребывало бы всегда в одном и том же состоянии. Именно поэтому эту внешнюю причину называют силой; слово «сила» общеупотребительно, хотя многие из тех, кто им пользуется, имеют о нем нечеткое представление. В. В. должно быть ясно из моих предыдущих объяснений: слово «сила» обозначает все, что способно изменить состояние тела. Так, например, когда тело, находящееся в покое, приводится в движение, то это происходит под действием силы; а когда движущееся тело меняет свое направление или свою скорость, то это опять-таки результат действия силы. Всякая перемена направления или скорости движущегося тела требует приложения силы. Эти силы, следовательно, находятся всегда вне тела, изменившего свое состояние, поскольку, как мы уже видели, тело, предоставленное самому себе, находится всегда в одном и том же состоянии, если на него не действует внешняя сила.

Итак, инерция, благодаря которой тело стремится сохранить свое состояние, присуща самому телу и является его основополагающим свойством. Когда какая-нибудь внешняя сила действует на тело, инерция, стремящаяся удержать его в том же состоянии, противодействует влиянию этой силы. Отсюда ясно, что инерция — это свойство, доступное измерению, т. е. инерция одного тела может быть больше или меньше инерции другого. Мера инерции, которой наделено тело, зависит от содержания в нем материи. Именно по его инерции или по сопротивлению, которое оказывает тело всякому изменению своего состояния, мы судим о количестве содержащейся в нем материи. Чем больше материи в теле, тем больше его инерция.

Кроме того, мы знаем, что требуется большая сила, чтобы изменить состояние большого тела по сравнению с малым. Именно основываясь на этом, мы определяем, что большое тело содержит больше материи, чем малое. Можно даже сказать, что только это свойство, а именно инерция, делает материю ощутимой для нас.

Итак, ясно, что *инерция* — это количественная мера, тождественная количеству материи в теле. И поскольку количество материи в теле называют его *массой*, то, следовательно, мера инерции будет мерой массы.

Таким образом, наше знание общих свойств тел сводится к следующему: во-первых, мы знаем, что все тела имеют протяженность в трех измерениях; во-вторых, что они непроницаемы; из этого вытекает общее свойство всех тел, называемое *инерцией*, благодаря которому тела сохраняют свое состояние. Иными словами, когда тело в покое — то это благодаря его инерции, а когда оно движется — то благодаря той же инерции его движение продолжается с прежней скоростью и в том же направлении. Неизменное состояние длится до тех пор, пока не вступит в действие какая-то внешняя сила, вызывающая перемену. Когда состояние тела меняется, причину этого никогда не следует искать внутри самого тела: причина находится всегда вовне. Таково истинное представление, которое мы должны себе составить о силе.

8 ноября 1760 г.

Письмо 75

Об изменениях, которые могут происходить в состоянии тел

Знание основного принципа механики и понятия инерции, с которым я имел честь познакомить В. В., дает нам возможность приступить к объяснению многих явлений, наблюдаемых нами в природе.

При виде какого-либо тела, движущегося равномерно и по прямой, иными словами, сохраняющего одно и то же направление и постоянную скорость, мы скажем, что причина постоянства этого движения находится не вне тела, но внутри него, заложена в самой его природе и что именно благодаря своей инерции тело пребывает в одном и том же состоянии. Равным образом, если тело находилось бы в состоянии покоя, мы сказали бы, что покой обусловлен также инерцией. У нас были бы основания утверждать, что это тело не подвергается действию никакой внешней силы и что если такие силы существуют, то они взаимно уничтожаются, в результате чего все остается таким же, как если бы этих сил вообще не существовало.

Итак, если бы спросили, почему это тело продолжает двигаться прямолинейно и равномерно, ответ не представил бы никаких трудностей; но если

спросят, почему это тело начало двигаться именно так, то подобный вопрос потребует совсем иного ответа. Нужно было бы сказать, что это движение было ему сообщено какой-то высшей силой (если до этого тело находилось в покое). Но невозможно дать сколько-нибудь точное представление о величине этой силы, поскольку от нее не осталось, надо думать, никаких следов. Было бы нелепо спрашивать: кто сообщил движение каждому телу в начале сотворения мира? Или же — что явилось первичной движущей силой? Те, кто ставит такой вопрос, признают тем самым, что было начало, а следовательно, и сотворение; и они воображают, что Бог создал все тела неподвижными. На это мы можем им возразить, что тот, кто смог создать тела, смог также сообщить им движение. Я в свою очередь спрашиваю их, полагают ли они, что легче создать вначале тело, пребывающее в покое, нежели тело, находящееся в движении. И то и другое равным образом требует всемогущества Божьего, а потому данный вопрос уже не входит в ведение науки.¹

Однако, как только тело приведено в движение, оно в соответствии со своей природой или благодаря инерции сохраняет свое состояние, в котором и пребывает неизменно, пока на него не окажет воздействия какая-то внешняя сила. Поэтому всякий раз, как мы наблюдаем перемену в состоянии данного тела, т. е. видим, что тело, пребывавшее в покое, начинает двигаться, а движущееся тело меняет свое направление или скорость, мы должны сказать, что причина этого изменения находится вне тела и что оно вызвано действием внешней силы. Так, например, если камень, который я выпускаю из рук, падает вниз, то это падение не совершается в силу какого-то свойства, присущего камню: оно вызвано внешней силой, а именно силой тяжести. Но тяжесть не является внутренним свойством тел, это, скорее, результат приложения посторонней силы, источник которой следует искать вне тела. Это положение с математической точки зрения бесспорно, хотя нам и неизвестны те внешние силы, которые обуславливают тяжесть. То же самое происходит, если бросить камень; мы увидим, что камень не движется по прямой и что его скорость не остается неизменной. И это также внешняя сила, т. е. сила тяжести побуждает тело беспрестанно менять как направление, так и скорость; не было бы тяжести, и камень летел бы по прямой линии и с постоянной скоростью. И если тяжесть внезапно исчезла бы во время полета камня, последний начал бы двигаться равномерно по прямой линии; и он сохранил бы то же направление и ту же скорость, которые у него были в момент прекращения действия силы тяжести. Но поскольку сила тяжести не может исчезнуть и постоянно воздействует на все тела, не следует удивляться тому, что в природе не встречается такого движения, направление и скорость которого остаются неизменными. Состояние покоя может иметь место, когда тело удерживают достаточно крепко, чтобы помешать ему упасть; так, например, пол в моей комнате служит мне опорой и не дает мне упасть в подвал. Но поскольку и те тела, которые

кажутся нам неподвижными, вовлечены в общее движение Земли, которое не является ни прямолинейным, ни равномерным, то, следовательно, нельзя утверждать, что и эти тела пребывают в неизменном состоянии. Поэтому и среди небесных сил нет ни одного, которое двигалось бы по прямой линии и с постоянной скоростью; следовательно, состояние их беспрестанно меняется, причем силы, вызывающие это постоянное изменение, нам хорошо известны — это силы притяжения, посредством которых небесные тела воздействуют друг на друга.

Я уже отмечал, что эти силы могут быть порождены тончайшей материей, окружающей все небесные тела и заполняющей все небесное пространство. Однако, по мнению тех, кто рассматривает притяжение как внутреннее свойство материи, эта сила всегда будет посторонней по отношению к телу, на которое она действует. Так, когда говорят, что Земля притягивается к Солнцу, то признают, что сила, действующая на Землю, не заключается в ней самой и что источником ее является Солнце; и действительно, если бы Солнца не существовало, эта сила была бы равна нулю.

Однако предположение, что притяжение свойственно любой материи, столь уязвимо, что почти невозможно предоставить ему место в рациональной науке. Предпочтительно думать, что то, что называют притяжением, — есть сила, заключенная в тончайшей материи, заполняющей все небесное пространство. Однако нам ничего не известно о том, как она действует на тела. Остается смириться с тем, что приходится признавать свое невежество и в других важных вопросах.

11 ноября 1760 г.

Письмо 76

О вольфианской системе монад

Доказав В. В. неоспоримую справедливость закона, согласно которому все тела сами по себе сохраняют одно и то же состояние, будь то покой или движение, — я считаю уместным отметить, что, полагаясь только на опыт и не прибегая к углубленному рассуждению, мы должны были бы прийти к прямо противоположному заключению и утверждать, что все тела стремятся к постоянному изменению своего состояния, поскольку в нашем мире мы наблюдаем только такие случаи, когда состояние тел непрерывно изменяется. Но я уже указал на причины, вызывающие такие изменения, и нам известно, что они заключены не в самих телах, состояние которых меняется, а вне их. Из этого следует, что опыт не только не противоречит закону, обоснованному выше, но, скорее, служит ему подтверждением. Отсюда В. В. сможет легко понять, насколько заблуждаются многие известные ученые, которые, опираясь на неправильно истолкованный ими опыт, ут-

верждают, что все тела наделены силами, беспрестанно изменяющими их состояние. Именно так рассуждал великий Вольф.¹ Он говорил следующее: 1) опыт нам показывает, что все тела постоянно меняют свое состояние; 2) все, что способно изменять состояние тела, называется силой; 3) следовательно, все тела наделены силой, позволяющей им изменять их состояние; 4) следовательно, всякое тело постоянно стремится изменить свое состояние; 5) эта сила присуща телу, только поскольку оно содержит материю; 6) следовательно, свойство материи — постоянно изменять свое состояние; 7) материя является сложной субстанцией, включающей множество составных частей, именуемых элементами материи; 8) поскольку сложная субстанция не может быть наделена каким-либо свойством, которое не коренилось бы в природе ее элементов, то, следовательно, каждый элемент содержит в себе силу, позволяющую ему изменить свое состояние.

Эти элементы — простейшие субстанции,² ибо если они состояли бы в свою очередь из частей, то элементами были бы не они, а их части. Простейшая субстанция называется также монадой.³ Следовательно, каждая монада наделена силой, позволяющей ей постоянно изменять свое состояние.

Таковы основания системы монад,⁴ о которой В. В., возможно, уже слышали, хотя теперь она уже не пользуется такой известностью, как прежде. Я обозначил цифрами положения, на которые она опирается, чтобы легче было ссылаться на них в ходе моих рассуждений. Против первых двух утверждений возразить нечего; но третье весьма двусмысленно, а если принимать его в том смысле, который ему придается, то и вовсе неверно. Я отнюдь не имею в виду, что силы, изменяющие состояние тел, истекают от некоей духовной сущности: я вполне согласен с тем, что эти силы содержатся в самих телах, но само собой разумеется, в других телах, а не в том, которое изменяет свое состояние, ибо тела обладают, скорее, противоположным свойством, т. е. склонностью к сохранению состояния.

Итак, поскольку тела заключают в себе такие силы, то следует предполагать, что взаимно связанные друг с другом тела могут проявить силы, воздействующие на состояние других тел. Отсюда следует, что положение четвертое совершенно ошибочно. Из всего, что было сказано ранее, можно заключить, что всякое тело наделено способностью сохранять свое состояние, и это в корне противоречит выводам вышеупомянутых ученых.

Здесь я должен отметить, что было бы неуместным называть «силой» способность тел сохранять одно и то же состояние. Ибо если понимать под словом «сила» все, что способно изменить состояние тела, то стремление пребывать в одном и том же состоянии является свойством, скорее противоположным силе. Поэтому я полагаю, что инерцию, которая и является этим свойством, ошибочно было бы рассматривать как силу (как это делают некоторые ученые) и называть ее *силой инерции*.

Чтобы не вступать в спор о терминах, хотя их неправильное употребление и может привести к серьезным заблуждениям, я возвращаюсь к теории монад;

поскольку четвертое положение ошибочно, последующие утверждения, которые непосредственно из него вытекают, также не могут быть правильными; а значит, ложно само утверждение, что элементы материи, или монады (если таковые существуют), наделены силой, позволяющей им изменять свое состояние. Более соответствовало бы истине противоположное утверждение, а именно, что они обладают свойством сохранять одно и то же состояние; тем самым вся теория монад окажется полностью опровергнутой.

Сторонники этой теории хотели таким путем отнести элементы материи к категории существ, в которую входят духовные субстанции и сознание, способные, без всякого сомнения, к изменению своего состояния. Например, в то время как я пишу, моя душа беспрестанно представляет себе все новые объекты, и эти перемены коренятся в самой моей душе, а не где-то вне ее. В этом я глубоко убежден; я даже считаю, что я сам властвую над моими мыслями, между тем как все изменения, происходящие с телом физическим, вызваны внешней силой.

Пусть В. В. подумает о том огромном различии, которое существует между состоянием тела физического, включающим в себя только скорость и направление движения, и мыслями, зарождающимися в нашей душе. В. В. тогда полностью убедится в ложности убеждений материалистов, которые полагают, что дух — не более как смесь материальных частиц. Люди этого толка не имеют ни малейшего понятия о природе тел; однако же почти все вольнодумцы разделяют это ложное мнение.⁵

15 ноября 1760 г.

Письмо 77

О происхождении и природе сил

Вызывает удивление то обстоятельство, что, хотя каждое тело имеет естественную склонность оставаться в одном и том же состоянии и даже противиться всякому изменению, тем не менее все тела в мире беспрестанно изменяют свое состояние. Нам известно, что такое изменение не может произойти без участия какой-либо силы, существующей вне того тела, состояние которого изменилось. Но где же следует искать все эти силы, вызывающие постоянные изменения всех тел в мире, и, кроме того, находящиеся вне этих тел? Итак, нужно ли предполагать, что помимо тел, находящихся в нашем мире, есть еще особые сущности, содержащие в себе эти силы? Или же сами эти силы являются некими особыми субстанциями, пребывающими в нашем мире? Нам известны только два вида сущностей, находящихся в мире: к одному виду относятся все неодушевленные тела, а к другому — все духовные субстанции, а именно ум и души людей и животных. Так нужно ли, помимо неодушевленных тел и духовных сущностей, вводить

в мир еще третий вид сущностей, а именно силы? Или же это духовные сущности и изменяют постоянно состояние тел?

И то и другое утверждения таят в себе слишком много трудностей для того, чтобы мы могли с ними согласиться. Ибо хотя нельзя отрицать, что души людей и животных способны вызвать изменения в их телах, было бы, однако, нелепо утверждать, что движение шара в билиарде было замедлено и остановлено каким-то духом, или что сила тяжести действует с помощью духа, который беспрестанно толкает все тела вниз, или же, наконец, что небесные тела, поскольку они меняют направление и скорость своего движения, подчиняются действию духов. Этому мнению придерживались некоторые древние философы;¹ каждому небесному телу они приписывали дух или ангела, ведущего его по его орбите. Основательно обсудив явления природы, нужно согласиться, что, за исключением одушевленных тел, т. е. тел людей и животных, все изменения состояния, происходящие с другими телами, вызываются телесными причинами, к которым духи не имеют никакого отношения.²

Таким образом, весь вопрос сводится к следующему: существуют ли силы, изменяющие состояние тел, сами по себе, образуя особый вид сущностей, или же они заключены в самих телах? Последнее мнение на первый взгляд кажется довольно странным: ибо если все тела способны сохранять свое состояние, то возможно ли, чтобы они в то же время таили в себе силы, стремящиеся это состояние изменить?

Взвесив все эти трудности, В. В. уже не будет удивляться тому, что источник сил во все времена был камнем преткновения для всех философов.³ Все рассматривали его как величайшую тайну природы, которая навсегда останется скрытой от вторжения смертных. Однако я надеюсь представить В. В. столь ясное объяснение этой мнимой тайны, что все трудности, которые до сих пор казались непреодолимыми, совершенно исчезнут.

Итак, я утверждаю, хотя это заявление и покажется очень странным, что то же самое свойство тел, благодаря которому они стремятся сохранить свое прежнее состояние, способно породить силы, вызывающие изменение состояния других тел. При этом я не говорю, что тело никогда не изменяет свое состояние, но что оно может приобрести способность изменять состояние другого тела. Чтобы дать возможность В. В. углубиться в эту тайну происхождения сил, достаточно рассмотреть два тела, как если бы во всем мире существовали они одни.



Пусть тело *A* покоится, а телу *B* сообщено движение в направлении *BA* с определенной скоростью. При этих условиях тело *A* будет стремиться всегда оставаться в покое, а тело *B* — стремиться продол-

жать свое движение по прямой *BA*, все время с одной и той же скоростью, причем и то и другое — по закону своей инерции. Со временем тело *B*

дойдет до тела *A* и коснется его. Но что тогда произойдет? Пока тело *A* остается в покое, тело *B* будет продолжать свое движение, не проходя сквозь тело *A*, т. е. не проникая одно в другое. Следовательно, невозможно, чтобы такое проникновение произошло, так как непроницаемость — абсолютно необходимое свойство всех тел. Таким образом, поскольку невозможно, чтобы и то и другое тело сохранили свое состояние, то абсолютно необходимо, имея в виду, что тело *A* начало двигаться, чтобы занять место тела *B*, чтобы оно могло продолжать свое движение, или чтобы тело *B*, соприкоснувшись с телом *A*, быстро остановилось, или чтобы состояние обоих тел изменилось так, как нужно для того, чтобы затем то и другое смогли оставаться в своем состоянии, не проникая взаимно друг в друга.

Итак, абсолютно необходимо, чтобы то или другое тело, или они оба изменили свое состояние. И мотив или причина этого изменения неизбежно кроется в непроницаемости самих тел. Поскольку любая причина, способная изменить состояние тел, называется силой, то нужно, чтобы именно непроницаемость самих тел вызывала появление сил, изменяющих их состояние.⁴

Действительно, так как непроницаемость таит в себе возможность взаимного проникновения тел друг в друга, то каждое тело сопротивляется всякому проникновению, даже если бы оно происходило в самых малых его частях. Таким образом, сопротивление проникновению — это не что иное, как проявление сил, необходимых для того, чтобы не допустить проникновения. Следовательно, всякий раз, когда два или множество тел не сохраняют свое состояние без взаимного проникновения, тогда их непроницаемость всегда порождает силы, нужные для изменения их состояния, поскольку требуется, чтобы не происходило никакого проникновения.

Итак, именно непроницаемость тел и является истинным источником сил, которые постоянно изменяют состояние тел в этом мире: вот истинная разгадка великой тайны, которая так мучила философов.

18 ноября 1760 г.

Письмо 78

На ту же тему и о принципе наименьшего действия

Объяснение истинного происхождения сил, способных изменить состояние тел, дало возможность В. В. продвинуться далеко вперед в познании природы; теперь В. В. может легко понять, почему все тела в нашем мире подвержены беспрестанным изменениям своего состояния — как покоя, так и движения.

Прежде всего не подлежит сомнению, что весь мир наполнен материей. Нам известно, что здесь, на Земле, все пространство между плотными телами, которых мы можем коснуться, заполнено воздухом и что если выпустить воздух из какого-либо пространства, то эфир тотчас же придет на его место. Нам известно также, что этот же самый эфир заполняет все космическое пространство между небесными телами.¹ Итак, поскольку все чем-то заполнено,² невозможно, чтобы движущееся тело могло хотя бы одно мгновение двигаться, не встречаясь с другими телами, сквозь которые оно должно было бы пройти, если бы они были проницаемы.

Следовательно, поскольку непроницаемость порождает постоянно и повсеместно силы, противодействующие всякому проникновению, эти же самые силы должны беспрестанно изменять состояние тел. Поэтому нет ничего удивительного в том, что мы наблюдаем постоянные изменения состояния тел, хотя каждое тело и стремится сохранить себя в прежнем состоянии. Если бы тела свободно проникали одно в другое, то ничто не препятствовало бы пребыванию каждого из них в постоянном состоянии. Но раз тела непроницаемы, обязательно должны возникать силы, достаточные для предотвращения всякого проникновения. Более того, само возникновение этих сил обусловлено необходимостью воспрепятствовать взаимному проникновению тел. Когда тела могут пребывать в прежнем состоянии, не вызывая никакого нарушения непроницаемости, тогда и непроницаемость не оказывает никакого действия, и с телами действительно не происходит никаких изменений. Непроницаемость становится активной только для того, чтобы предупредить проникновение, и с этой целью она порождает соответствующие силы. Так, когда достаточно малой силы для предотвращения проникновения, непроницаемость развивает именно такую малую силу; вместе с тем как бы велика ни была сила, требующаяся для предупреждения проникновения, непроницаемость всегда в состоянии ее развить.

Хотя непроницаемость порождает эти силы, нельзя сказать, что она наделена какой-то определенной силой; скорее, она способна развить всякого рода силы, как большие, так и малые, требуемые обстоятельствами. Сама же она является поистине неисчерпаемым источником этих сил. Пока тела обладают непроницаемостью, этот источник не может иссякнуть: необходимо, чтобы силы эти возникали, иначе произойдет взаимное проникновение тел, что противно природе.

Следует также отметить, что эти силы не имеют своим источником непроницаемость одного только тела; они порождаются непроницаемостью всех тел, вместе взятых. Если хотя бы одно из двух тел оказалось бы проницаемым, могло бы произойти проникновение, и, следовательно, отпала бы необходимость в силе, вызывающей изменения состояния тел.

Таким образом, когда два тела сталкиваются так, что оба не могут оставаться в прежнем состоянии, не проникнув одно в другое, то непроницаемость как того, так и другого противодействует их взаимному проникновению, и из этих со-

вокупных усилий зарождается сила, необходимая, чтобы предотвратить проникновение. В таком случае говорят, что эти два тела воздействуют одно на другое и что сила, порожденная их непроницаемостью, осуществляет действие, оказываемое ими друг на друга. Эта сила действует на оба тела одновременно: так как они стремятся проникнуть друг в друга, она отталкивает оба и тем самым предупреждает взаимное проникновение.

Итак, ясно, что тела могут воздействовать друг на друга. Столь часто говорят о взаимном действии тел, имеющем место, например, при столкновении двух шаров на бильярдном столе, что такой способ выражения должен быть известен В. В. Но вообще такое взаимное действие тел происходит только в том случае, если возникает опасность нарушения их непроницаемости. Отсюда возникает сила, способная изменить состояние каждого тела ровно настолько, насколько это необходимо, чтобы предотвратить малейшее проникновение, так что сила несколько меньшая оказалась бы недостаточной, чтобы произвести это действие. Нет сомнения, что большая сила также предотвратила бы проникновение, но коль скоро нет опасности взаимного проникновения тел, их непроницаемость перестает оказывать воздействие.

Отсюда ясно, что взаимная непроницаемость порождает лишь наименьшую силу, которая еще способна предупредить проникновение. Итак, поскольку сила будет наименьшей, то и производимое ею действие, т. е. изменение состояния тела, будет также наименьшим из возможных, способных помешать проникновению. Следовательно, когда два или несколько тел сталкиваются так, что ни одно из них не может остаться в прежнем состоянии, не проникнув в другое тело, то результатом является их взаимное действие, и это действие будет всегда наименьшим из тех, которые еще способны воспрепятствовать проникновению.

Именно в этом В. В. найдет, вопреки всяким ожиданиям, обоснование теории покойного г-на де Мопертюи, вызвавшей столь много похвал и столь же много возражений.³ В основе этой теории лежит принцип наименьшего действия,⁴ согласно которому все изменения, происходящие в природе, осуществляются посредством действия наименьшего из возможных.

Из моего объяснения, которое я имел честь представить В. В., явствует, что этот принцип коренится в самой природе тел и что те, кто его отвергает, заблуждаются, но еще в большей степени ошибаются те, кто поднимает его на смех. В. В., по-видимому, уже замечали, что некоторые лица, недоброжелательно относящиеся к г-ну де Мопертюи,⁵ пользуются любым случаем, чтобы поиздеваться над его теориями, будь то принцип наименьшего действия или же отверстие, проделанное до центра Земли. Но, к счастью, истина от этого нисколько не страдает.

Письмо 79

*О вопросе,
существуют ли еще и другие виды сил*

Я имел честь объяснить В. В. происхождение сил, вызванных непроницаемостью тел, и эта точка зрения ни в коей мере не опровергает мнения тех, кто отстаивает способность души человека или животного воздействовать на его тело. Вполне возможно допустить существование двоякого рода сил, вызывающих все изменения в мире. К первой категории относятся силы физические, которые имеют своим источником непроницаемость тел. Вторая категория — это силы духовные, посредством которых души живых существ воздействуют на свои тела. Но этот вид ограничивается единственно одушевленными телами (*corps animees*), которых Создатель столь очевидно выделил из других тел; непозволительно смешивать их и в философии.¹ Что же касается притяжения, то, поскольку его рассматривают как внутреннее свойство тел, вышеуказанная концепция наносит этому представлению существенный удар: ибо если тела действуют друг на друга единственно с целью сохранить свою непроницаемость, то притяжение никак не относится к этому случаю. Два тела, удаленные одно от другого, могут оставаться в прежнем своем состоянии, и это никак не затрагивает их свойства быть непроницаемыми и несовместимыми в пространстве, и, следовательно, нет оснований для того, чтобы одно тело действовало на другое и даже притягивало его к себе. Во всяком случае, притяжение подобало бы отнести к третьему виду сил, которые не будут ни физическими, ни духовными.² Однако противно правилам рациональной науки вводить новую категорию сил, пока их существование не будет неоспоримо доказано. Для этой цели потребовалось бы неопровержимо доказать, что силы, притягивающие тела друг к другу, исходят не от тонкой материи, окружающей все тела; но никто еще не доказал невозможность этого.³ Скорее кажется, что Создатель нарочно заполнил все небесное пространство⁴ тончайшей материей, чтобы возникли эти силы, толкающие тела друг к другу, причем именно в соответствии с вышеизложенным законом, основанным на непроницаемости тел. Действительно, тончайшей материи вполне может быть присуще такое движение, что окруженное ею тело сохранит свое состояние, только если эта материя пройдет через него насквозь. В этом случае непроницаемость как тончайшей материи, так и самого тела неминуемо должна породить некую силу. Если бы случилось хотя бы однажды где-нибудь в мире, что два тела притянулись бы, а пространство между ними не содержало бы тонкой материи, то пришлось бы признать реальность притяжения;⁵ но, поскольку так не бывает, мы вправе не только сомневаться в такой возможности, но и полностью ее отвергнуть.

Итак, нам известны только два источника сил, вызывающие изменения тел, а именно, непроницаемость и воздействие духа. Сторонники Вольфа

отвергают последнее: по их убеждению, никакой дух или нематериальная субстанция не может воздействовать на тело. Их смущает, когда им говорят, что если следовать их мнению, то и Бог, будучи духовной силой, не властен над телами, а это уже отзывает атеизмом. На это они дают неубедительный ответ: Бог может воздействовать на тела благодаря своей бесконечности. Но если для духа, поскольку он дух, невозможно действовать на тела, то эта невозможность с необходимостью распространяется и на самого Бога.⁶ И затем, кто же станет отрицать, что наша душа оказывает влияние на наше тело? Я настолько хозяин членов своего тела, что могу приводить их в движение по своей воле. То же самое можно сказать и о животных.⁷ Поскольку есть основания считать нелепым мнение Декарта, что все животные — не более как механизмы, подобные часам и не одаренные никакими чувствами, то что можно сказать о вольфианцах, которые даже людей превращают в простые машины?

Эти же вольфианцы в своих умствованиях доходят до отрицания и первой категории сил, о которых они не имеют никакого представления. Не будучи в состоянии понять, как одно тело воздействует на другое, они решительно отвергают саму возможность воздействия, утверждая, что все изменения, происходящие в теле, вызваны внутренними силами, свойственными самому телу. Те же самые философы, о которых я уже имел честь говорить В. В., отрицают и первый принцип механики — о сохранении одного и того же состояния,⁸ что само по себе уже достаточно для опровержения всей их концепции. Корень их заблуждений, как я уже указывал выше, в том, что они исходили из ошибочных представлений о физических явлениях, наблюдаемых в мире. Из того факта, что почти все тела постоянно меняют свое состояние, они сделали опрометчивое заключение относительно сил, якобы содержащихся в самих телах и заставляющих их беспрестанно изменяться. Между тем они должны были бы прийти к прямо противоположному выводу.

Именно так, из-за поверхностного взгляда на вещи, и впадают в грубейшие ошибки.⁹ Я уже доказал В. В. всю несостоятельность этого рассуждения. Но, однажды совершив эту ошибку, они в дальнейшем пришли к самым нелепым утверждениям. Прежде всего они приписали эти внутренние силы первичным элементам материи, которые, по их мнению, постоянно стремятся изменить свое состояние. Отсюда они заключили, что все изменения, которым подвержен каждый элемент, происходят под воздействием его внутренней силы и что два элемента или простейшие субстанции не могут воздействовать друг на друга. Раз это так, то и дух, поскольку он также является простой субстанцией, лишается всякой возможности воздействовать на тела. Однако для Бога они делают исключение. И далее, так как тела состоят из простых сущностей, они должны были прийти к отрицанию того, что тела способны действовать друг на друга.

Напрасно им возражали, ссылаясь на пример тел, сталкивающихся друг с другом, и на изменения состояния, вызываемые этим столкновением; они

столь убеждены в правильности своего рассуждения, что упорно не желают от него отказываться. Они предпочитают утверждать, что каждому телу присуще свойство вызывать те изменения, которым оно подвергается, и что столкновение не играет здесь никакой роли. Только иллюзия заставляет нас думать, что столкновение — причина изменения. Они очень похваляются возвышенностью своей философии, недоступной простонародью.¹⁰ Теперь у В. В. есть возможность вынести по этому поводу свое справедливое суждение.

25 ноября 1760 г.

КОНЕЦ ПЕРВОГО ТОМА

ТОМ ВТОРОЙ

О природе духовных субстанций

Я надеюсь, что сумел убедить В. В. в обоснованности своих рассуждений о свойствах тел и о силах, которые вызывают изменение их состояния. Все мои объяснения основаны на опыте, подтвержденном наилучшим образом, а также на принципах разума. Здесь нет ничего противоречащего здравому смыслу или опровергаемого другими принципами, столь же надежно установленными. Только недавно удалось достичь успеха в этих изысканиях; прежде существовали столь нелепые представления о свойствах тел,¹ что этим последним приписывали всякого рода силы, которые должны были взаимно уничтожаться.

Весьма примечательным примером этого могут служить силы, приписываемые элементам материи, которые стремятся беспрестанно изменять свое состояние; я уже не говорю о силе притяжения, которую многие рассматривают как основное свойство материи. Некоторые даже полагают, что сама материя так устроена, что обладает способностью мыслить. Именно из этой точки зрения исходят философы, называемые *материалистами*,² которые утверждают, что наша душа и вообще все духовные сущности — материальны; или, лучше сказать, они отрицают существование души и духовных сущностей. Но лишь только мы встанем на правильный путь, ведущий к познанию свойств тел, какими являются *инерция*, благодаря которой тела сохраняют свое состояние, и *непроницаемость*, порождающая силы, способные изменить их состояние, как все эти упомянутые мною выше призрачные силы исчезают. Нет ничего более нелепого, чем утверждать, что материя способна мыслить. Думать, решать, рассуждать, чувствовать, размышлять и желать — все эти способности несовместимы со свойствами тел.³ Существа, одаренные этими способностями, должны иметь совершенно иную природу.⁴ Это — души и духовные сущности, и из них тот, кто обладает этими атрибутами в наивысшей степени, есть Бог.

Итак, существует бесконечно большое различие между телами и духовными сущностями. Телам присущи только протяженность, инерция и непроницаемость,⁵ т. е. свойства, исключающие всякое чувствование. Между тем как дух одарен способностью мыслить, решать, рассуждать, чувствовать, размышлять, желать, наконец, делать выбор. У него нет ни протяженности, ни инерции, ни непроницаемости; эти телесные свойства бесконечно далеки от духовных сущностей. Другие философы, не зная на что решиться, считают возможным, что Бог наделил материю способностью мыслить. Это те самые философы, которые утверждают, что Бог одарил тела свойством взаимного притяже-

ния.⁶ Поскольку это означало бы, что сам Бог толкает тела друг к другу, то же самое можно было бы сказать и про способность мыслить, дарованную телам: в таком случае мыслил бы сам Бог, а совсем не тело. Что касается меня, то я твердо убежден, что думаю сам, и ничто не может быть достовернее;⁷ следовательно, это не тело мое мыслит благодаря какой-то способности, которой оно было наделено, но сущности, совершенно отличная от тела, иными словами, моя душа, являющаяся духовной субстанцией.

Спрашивается, что же такое дух? Здесь я предпочту признаться в своем незнании и ответить, что мы не можем сказать, что такое дух, ибо нам совершенно ничего не известно о его природе.⁸ Подобные вопросы могут задавать материалисты, которые почитают за честь называть себя вольнодумцами, хотя сами желают изгнать из нашего мира дух, иными словами, существа, одаренные разумом и рассудком. Но вся эта мнимая премудрость, которой еще и теперь кичатся вольнодумцы, желая отличить себя от прочих людей, вся эта премудрость, говорю я, берет свое начало из примитивного способа изучения природы тел, что никак уже нельзя поставить им в заслугу. Часто они даже похваляются своим невежеством, говоря, что мы почти ничего не знаем о природе тел и поэтому весьма возможно, что тело думает и выполняет все, что простой народ считает уделом духа. Было бы совершенно излишне опровергать это нелепое мнение после тех объяснений, которые я уже имел честь представить В. В.⁹

Итак, не подлежит сомнению, что в нашем мире есть два рода сущностей: одни — физические, или материальные, другие — нематериальные, или духовные, совершенно отличные от первых. Однако эти два рода сущностей теснейшим образом связаны друг с другом, и именно от этой связи зависят все удивительные явления в нашем мире, которые приводят в восхищение разумных людей и заставляют прославлять Создателя. Нет никакого сомнения, что духовные сущности составляют важнейшую часть мира, а тела созданы только для того, чтобы им служить. Именно поэтому душа живых существ находится в самом тесном единении с их телом. Душа не только узнает обо всех воздействиях, которым подвергается тело, но она также обладает способностью влиять на тело, вызывая в нем соответствующие изменения: именно в этом и состоит активное начало духа, воздействующее на весь остальной мир.

Итак, это единение каждой души с ее телом есть и пребудет всегда самой великой тайной всемогущества Божьего, которое мы никогда не сможем постигнуть.¹⁰ Мы, конечно, видим, что наша душа не может непосредственно влиять на все органы нашего тела; разве что некий нерв будет перерезан, и я не смогу больше сгибать руку. Отсюда заключаем, что наша душа может влиять только на крайние окончания нервов, которые ведут к мозгу и сходятся там в некоем месте.¹¹ Однако даже самый искусный анатом не может определить точно этот участок. Над ним властна только наша душа, между тем как власть Бога простирается на всю Вселенную и на все, что мы не можем постичь. В этом и состоит его Всемогущество.

Письмо 81

О взаимосвязи между душой и телом

Поскольку дух и тело являются творениями, или субстанциями, совершенно различными по своей природе, и поскольку мир заключает в себе два рода субстанций: одни — *духовные*, а другие — *телесные* (физические), или материальные, то их тесное взаимодействие, которое мы наблюдаем, заслуживает самого пристального внимания. В самом деле, взаимодействие души и тела, которое мы находим у каждого человека и даже у любого животного,¹ — поистине удивительное явление. У этого видения как бы две стороны: прежде всего, душа чувствует или постигает все изменения, происходящие в теле, посредством чувств, которых, как известно В. В., пять: зрение, слух, обоняние, вкус и осязание.² Именно эти пять чувств позволяют душе постигать все, что происходит не только в ее собственном теле, но и вне его. Осязание и вкус дают представление о предметах, которые непосредственно соприкасаются с телом, а обоняние — о предметах, несколько более удаленных; слух позволяет охватить значительно большее расстояние, между тем как зрение позволяет нам судить о предметах, находящихся очень далеко. Все эти познания могут быть получены, только если предметы соответствующим образом воздействуют на одно из наших чувств; при этом мало, чтобы такое воздействие осуществилось, надобно еще, чтобы орган чувства находился в хорошем состоянии и связанные с ним нервы не были повреждены. Так, В. В. вспомнит, что для зрительного ощущения необходимо четкое изображение предметов на глазном дне — сетчатке; однако это изображение еще не составляет предмета душевной деятельности; человек может ничего не видеть, хотя изображение, рисуемое на сетчатке его глаза, будет совершенно отчетливым.³ Сетчатка — это нервная ткань, продолжение которой доходит до головного мозга. Если эта связь с головным мозгом нарушена из-за какого-либо повреждения нерва, называемого зрительным нервом, то человек уж ничего не видит, каким бы четким ни было изображение на сетчатке. То же можно сказать и о других ощущениях: все они осуществляются с помощью нервов, передающих воздействие, которому подвергаются органы чувств, к некоему первоисточнику в головном мозге. В мозге имеется некий участок, где сходятся все нервы;⁴ именно там находится обитель души, которая воспринимает все раздражения, передаваемые органами чувств. Из этих ощущений душа черпает все свои познания объектов внешнего мира; из них она извлекает первичные представления, которые в определенном сочетании образуют суждения, размышления, умозаключения и все то, что способствует совершенствованию познания; именно в этом и состоит собственная творческая деятельность души, в которой тело не принимает никакого участия. Однако первичным материалом для познавательной деятельности души служат восприятия, получаемые от органов чувств через посредство тела. Основная способность души в том и заключается, чтобы постигать или ощущать все, что происходит в той

части головного мозга, где сходятся все чувствительные нервы. Такая способность души называется ощущением; душа здесь пассивна, она только воспринимает воздействия, идущие от органов тела.⁵ Но, с другой стороны, душе присуще и некое активное начало, которое позволяет ей действовать на тело, вызывая в нем по своему желанию различные движения; именно в этом и состоит власть души над телом. Так, например, я могу двигать руками и ногами, как мне хочется; а сколько движений делают мои пальцы, когда я пишу это письмо! Между тем моя душа не может непосредственно воздействовать ни на один из моих пальцев. Для того чтобы хотя бы один пришел в движение, надо привести в действие несколько мышц, что может быть осуществлено опять-таки посредством нервов, сходящихся в мозгу. Если один из таких нервов поврежден, как бы я ни приказывал пальцу двигаться, он не будет больше повиноваться повелениям моей души. Отсюда ясно, что власть души распространяется только на малое пространство, ту часть мозга, где сходятся все нервы; также и ощущение ограничено этим участком.⁶

Итак, душа соединена только с этими окончаниями нервов; она не только способна на них влиять, но может также видеть в них, как в зеркале, все, что воздействует на органы тела. Какая же это поразительная способность души, по незначительным изменениям, испытываемым окончностями нервов, судить о внешних причинах, вызвавших эти изменения!⁷ Дерево, например, передает на сетчатку глаза посредством испускаемых лучей свое изображение, весьма с ним схожее. Насколько слабым должно быть воздействие, воспринимаемое в данном случае нервами!⁸ И тем не менее именно это воздействие, передаваемое по нервным путям от их первоисточника, создает в нашей душе представление об этом дереве. И далее, малейшее воздействие, оказываемое душой на окончания нервов, незамедлительно передается мышцам, которые приводятся в движение и заставляют тот или иной орган подчиниться велениям души.

Люди умеют изготовлять множество механизмов, начинающих двигаться, если потянуть за веревку: В. В. легко поймет, что эти машины — ничто по сравнению с нашим телом и телами всех животных.⁹ Отсюда следует заключить, что создания Бога бесконечно превосходят все творения человеческого искусства и что связь души и тела будет всегда одним из самых поразительных явлений.

2 декабря 1760 г.

Письмо 82

О различных системах для объяснения единства души и тела

Чтобы сделать более понятным взаимодействие души и тела, можно сравнить ощущение с человеком, находящимся в камере-обскуре,¹ где он видит изображение всех объектов, расположенных снаружи, и таким путем узнает

обо всем, что происходит вне камеры.* Равным образом душа, вглядываясь, если можно так выразиться, в окончания нервов, сходящиеся в определенном участке мозга, узнает обо всех воздействиях, испытываемых нервами, и составляет себе представление о внешних объектах, которые воздействовали соответствующим образом на органы чувств. Хотя нам совершенно неведомо, в чем заключается соответствие воздействий, испытываемых окончаниями нервов, с самими объектами, являвшимися их источником, тем не менее они вполне способны дать душе верное представление об этих объектах.²

С другой стороны, душа, воздействуя на нервные окончания, сможет привести в движение по своей воле члены нашего тела. В этом случае душу можно сравнить с человеком, управляющим марионетками:³ дергая за шнур, он заставляет их ходить и делать разные движения, какие ему только вздумается. Такое сравнение, однако, не вполне удачно, ибо душа связана с телом бесконечно более тесно. В отличие от человека, находящегося в камере-обскуре, душа вовсе не столь безучастна к ощущениям: она гораздо глубже в них заинтересована.⁴ Одни ощущения ей приятны, между тем как другие неприятны и даже мучительны. Что может быть невыносимее, чем острая боль, хотя бы причиной ее был только больной зуб? Ведь это всего лишь некоторое раздражение нерва, но последствия его нестерпимы для души.

Как бы ни рассматривать эту тесную связь между душой и телом, она составляет сущность естества живого человека: она остается непостижимой тайной для философии, и тщетно во все времена философы пытались ее разгадать. Они выдвинули три системы, чтобы объяснить связь души с телом.

Первая из них — система влияния (инфлюкса),⁵ именно та, о которой я уже говорил В. В.: согласно этой теории, существует реальное влияние тела на душу и души на тело. Тело посредством своих органов чувств сообщает душе первичные сведения о внешних объектах, а душа, воздействуя непосредственно на нервы в том месте, где они начинаются, вызывает соответствующие движения членов тела. При этом сторонники указанной теории признают, что нам совершенно неизвестно, каким способом осуществляется это взаимодействие. Здесь, без сомнения, следует положиться на всемогущество Бога, который наделил каждую душу властью над некоторой частью материи, содержащейся в нервных окончаниях. Таким образом, власть каждой души ограничена этой малой частью тела, между тем как всемогущество Создателя распространяется на все находящиеся в мире тела. Эта теория, по-видимому, наиболее близка к истине, хотя многое еще нужно сделать, чтобы познать эту последнюю исчерпывающим образом. Две другие теории выдвинуты философами, которые открыто отрицают возможность реального влияния духа на тело, хотя и вынуждены признать, что такой властью обладает Всевышний. Они утверждают, что тело не может передавать душе первичные представления о внешнем мире, а душа не способна вызвать какое-либо движение тела.

* Ср. с письмом 117.

Одна из этих теорий была выдвинута Декартом и получила название *системы случайных причин*.⁶ Согласно этой теории, когда органы чувств воспринимают раздражение от внешних объектов, то Бог в тот же момент создает в душе представления об этих объектах; если же душа хочет заставить двигаться какой-нибудь член тела, то это также Бог немедленно сообщает этому члену требуемое движение. Следовательно, не существует никакой прямой связи между душой и телом. В таком случае не было бы никакой необходимости создавать столь совершенную машину, как наше тело, ибо любая грубая гряда железа оказалась бы пригодна для этой цели.⁷ И действительно, эта теория вскоре утратила всякое доверие, после того как великий Лейбниц⁸ противопоставил ей свою *систему предустановленной гармонии*,⁹ о которой В. В., наверное, уже приходилось слышать.

Согласно этой последней теории, душа и тело суть две субстанции, не имеющие взаимной связи и не оказывающие друг на друга никакого влияния. Душа — это духовная субстанция, которая самостоятельно и последовательно развивает представления, мысли, умозаключения и приходит к решению, так что тело не принимает в этом ни малейшего участия. Что касается тела, то это необычайно искусно устроенная машина; подобно часам, она производит ряд последовательных движений без всякого участия души. Но поскольку Бог изначально предусмотрел все решения, которые в любой момент будут приняты душой, то и механизм тела устроен так, чтобы его движения согласовывались в любой момент с решениями души. Таким образом, когда я сейчас поднимаю руку, то это означает, по мнению Лейбница, что Бог, предвидя желание моей души поднять руку в настоящий момент, так устроил машину моего тела, что моя рука неизбежно должна будет подняться в тот же момент. Подобным же образом все движения членов нашего тела осуществляются исключительно благодаря их собственному устройству, а это последнее изначально было предназначено к тому, чтобы всегда соотнобразовываться с намерениями души.

6 декабря 1760 г.

Письмо 83

Рассмотрение системы предустановленной гармонии и возражения против этой теории

В свое время система предустановленной гармонии пользовалась таким широким признанием, что все те, кто хотя бы подвергал ее сомнению, слыли невеждами или вольнодумцами весьма ограниченного ума.¹ Сторонники этой теории хвалились тем, что нашли способ представить в полном свете Всемогущество и Всеведение Создателя и что отныне, убедившись в этих высших атрибутах Божества, уже невозможно усомниться в истинности столь возвышенной теории. В самом деле, говорят они, мы видим, что жалкие смертные

способны создать хитроумные машины, вызывающие всеобщее восхищение; с тем большим основанием следует признать, что Бог, зная искони все желания и стремления, которые зародятся в любой момент в моей душе, мог изготовить машину,² способную в любой момент производить движения в соответствии с велениями моей души. Эта машина и есть мое тело, связанное с моей душой только благодаря такой гармонии; если же устройство моего тела разрегулировано настолько,³ что действия его уже не согласуются с моей душой, то это тело будет принадлежать мне не более, нежели тело носорога, обитающего где-то в Центральной Африке. И если в случае моего телесного расстройтва Бог устроил бы тело носорога так, что тот выполнял бы движения, полностью согласованные с велениями моей души, например поднимал бы ногу в момент, когда я хочу поднять руку и т. д., то его тело стало бы уже моим. Я превратился бы тогда внезапно в носорога, обитающего в центре Африки, но вопреки этому моя душа продолжала бы совершать те же действия. Я бы по-прежнему имел честь писать письма В. В., хотя не знаю, как в этом случае они могли бы дойти до В. В.⁴ Покойный г-н Лейбниц сам сравнивал душу и тело с двумя часами, которые всегда показывают одинаковое время.⁵ Какой-нибудь невежда, наблюдая за этим согласным ходом двух часов, вообразит, без сомнения, что одни из этих часов воздействуют на другие; но мнение это будет ошибочно, ибо и те и другие часы идут независимо друг от друга. Равным образом душа и тело — это две машины, совершенно не зависящие друг от друга; первая духовна, а вторая материальна. Но поскольку действия их постоянно находятся в совершенном согласии, это позволяет нам думать, что обе машины одно целое и что одна из них оказывает реальное влияние на другую; это было бы, однако, чистейшей иллюзией.⁶

Чтобы вынести свое суждение об этой теории, я должен прежде всего отметить следующее: нельзя отрицать, что Бог мог создать машину, действующую всегда согласно с моей душой.⁷ Но мне кажется, что тело мое принадлежит мне в силу других причин, а не благодаря гармонии, какой бы совершенной она ни казалась.⁸ И я полагаю, что В. В. не пожелает согласиться с теорией, основанной единственно на том принципе, что дух не может влиять на тело, а тело в свою очередь не способно воздействовать на душу и сообщать ей какие-то идеи.⁹ Этот принцип, впрочем, не подтверждается никакими доказательствами, поскольку несбыточные фантазии его сторонников¹⁰ относительно простых сущностей были решительно отвергнуты. И далее, если Бог, будучи духовной субстанцией, может влиять на тела, то не исключена возможность, что такая субстанция, как наша душа, также способна оказать подобное воздействие. Поэтому мы и говорим, что наша душа действует не на все тела, а только на небольшую частицу материи, власть над которой была ей дана самим Богом; однако способ этого воздействия для нас непостижим.¹¹

Помимо этого, теория предустановленной гармонии наталкивается на трудности и другого рода: согласно этой теории, душа черпает в самой себе все понятия и знания, а тело и органы чувств нисколько этому не способствуют.

Так, например, если я прочту в газете известие о смерти папы Римского¹² и таким путем узнаю об этом событии, то ни газета, ни мое чтение не играют никакой роли в этом акте познания, поскольку они имеют отношение только к моему телу и органам чувств, никак не связанным с моей душой.¹³ Но если исходить из этой теории, то следует признать, что моя душа черпает из самой себя и развивает имеющиеся у нее представления об этом папе. Зная его физическое состояние, душа решает, что он неизбежно должен умереть, и по удачному совпадению это знание приходит к ней одновременно с чтением газеты; поэтому-то я и воображаю, что получил это известие из газеты, тогда как на самом деле почерпнул его из тайников моей души. Но такое суждение совершенно нелепо. Каким образом я могу так смело утверждать, что папа должен был обязательно умереть именно в тот момент, когда об этом оповестила газета, и исходить при этом только из смутного представления о физическом состоянии и здоровье папы, о которых, кстати, я мог не знать и вовсе ничего; я значительно лучше осведомлен о моем собственном состоянии, хотя и не знаю, что со мной может случиться завтра. Равным образом можно сказать, что когда В. В. оказывает мне честь, читая мои письма и узнает из них какую-либо истину, то это из глубины своей души В. В. черпает представление об этой истине, а мои письма несколько этому не способствуют. Чтение этих писем является только средством осуществления гармонии, которую Создатель пожелал установить между душой и телом. Это не более чем простая условность, совершенно излишняя для познания как такового. Но не-взирая на это, я буду продолжать мои наставления.¹⁴

9 декабря 1760 г.

Письмо 84

Другое возражение против этой системы

Против теории предустановленной гармонии выдвигают еще и другое возражение, а именно, что она полностью лишает человека свободы.¹ И в самом деле, если тело человека не более чем механизм, подобный часам, то все его действия являются необходимым следствием его устройства. Так, например, если вор крадет у меня кошелек, то движение руками, которое он при этом делает, является для механики его тела столь же обязательным, как движение стрелки на моих часах, показывающей сейчас девять часов. Отсюда В. В. может легко сделать вывод, что если неразумно и даже смешно сердиться на часы и наказывать их за то, что они показывают девять часов, то равным образом было бы несправедливо подвергнуть наказанию вора, который срезал у меня кошелек.

В связи с этим стоит упомянуть один интересный случай, произошедший еще при покойном короле,² когда г-н Вольф преподавал в Галле³ систему

предустановленной гармонии. Король осведомился об этом учении, которое пользовалось тогда широкой известностью. Один придворный объяснил Его Величеству, что, согласно этому учению, все солдаты не более как простые машины; и если некоторые из них дезертируют, то это объясняется особенностями их телесного устройства; поэтому было бы несправедливо их наказывать, поскольку это то же самое, что наказывать машину, производящую то или иное движение.

Король, услышав это, был так возмущен, что приказал изгнать г-на Вольфа из Галле, пригрозив ему виселицей, если он не выедет через 24 часа.⁴ Тогда этот философ нашел себе прибежище в Марбурге, где я вскоре после того имел случай с ним беседовать.⁵ Сторонники Вольфа открыто осуждали этот поступок короля, заявляя при этом, что предустановленная гармония никак не посягает на свободу человека. Они соглашались с тем, что все действия людей являются неизбежным следствием их телесного устройства и что в этом смысле они совершаются с такой же неизбежностью, как и ход часов. Но поскольку тела людей — это машины, находящиеся в гармонической связи с их душой, а эта последняя принимает свои решения совершенно свободно, то с полным правом можно подвергнуть ее наказанию, хотя бы действие тела и было вызвано необходимостью. Вполне справедливо, что преступный характер поступка заключается не столько в действии или движении членов тела, сколько в намерении или решении самой души, которая совершенно свободна. Представим себе, говорят они, душу какого-нибудь вора, решившего через некоторое время совершить кражу; Бог, предвидя это намерение, наделил его телом, устроенным таким образом, что в положенное время оно должно было неизбежно выполнить те действия, которые требуются для кражи. Поэтому, утверждают они, самое действие является необходимым следствием устройства тела, но решение вора — это свободный акт его души, которая по этой причине преступна и достойна наказания. Несмотря на это умозаключение, сторонники предустановленной гармонии всегда будут испытывать трудности, защищая свободу решений, которые принимает душа.⁶ Ибо, по их убеждению, душа также подобна машине, однако по своей природе отличной от машины тела. Представления и решения души обусловлены теми, которые им предшествовали, а те вытекают в свою очередь из существовавших ранее и т. д., так что представления следуют одни за другими с такой же неуклонной необходимостью, как и движения машины. В самом деле, говорят они, люди в своих поступках руководствуются всегда какими-то мотивами, а эти мотивы основаны на представлениях души, которые следуют одно за другим в соответствии с ее состоянием. В. В. вспомнит, что, согласно этой теории, душа не получает никаких сведений от тела, с которым она не имеет реальной связи; напротив, она черпает все свои понятия в самой себе. Представления, возникающие в настоящем, вытекают из предшествующих и являются их необходимым следствием, так что душа нисколько над ними не властна. Эти представления определяют решения, которые также неподвластны душе. Таким образом, поскольку вся

деятельность души зависит от ее состояния в настоящем, а последнее вытекает из предыдущего и т. д., то отсюда следует, что весь процесс развития представлений является необходимым следствием первоначального состояния души при ее создании; нет сомнения, что это состояние также не зависело от ее воли, а следовательно, никакой свободы не существует. Если лишить людей свободы, то все их действия становятся необходимыми, и их нельзя расценивать как законные или преступные.

Ни один из этих философов не смог до сих пор разрешить эту трудность; поэтому их противники с полным основанием упрекают их в том, что их воззрения наносят вред нравственным понятиям и что на Бога возлагается ответственность за все преступления, что несомненно уже является богохульством. Однако не следует вменять им в вину подобные заключения, хотя последние вполне естественно вытекают из их теории.⁷ Вопрос о свободе — это камень преткновения в философии, и чрезвычайно трудно внести в этот вопрос полную ясность.⁸

13 декабря 1760 г.

Письмо 85

О свободе духа и ответ на возражения, обычно выдвигаемые против этой свободы

Самые большие трудности в вопросе о свободе, трудности, которые кажутся даже непреодолимыми, объясняются тем, что не проводят должного различия между природой духа и тела. Философы вольфианской школы доходят до того, что считают духовные сущности явлениями того же порядка, что и телесные субстанции, и называют те и другие *монадами*,¹ обладающими, по их утверждению, способностью изменять свое состояние. От этого якобы и происходят все изменения в теле, а также развитие всех представлений и действий души.² Итак, поскольку в согласии с этой теорией каждое состояние как тела, так и души определяется предыдущим состоянием и действия души подобно действиям тела вытекают из предшествующих, то очевидно, что свобода не может быть присуща ни душе, ни телу. Что касается тела, то здесь бессмысленно было бы допустить хотя бы малую долю свободы, поскольку свобода всегда предполагает возможность совершить, допустить или прекратить какое-либо действие, что, однако, прямо противоположно тому, что происходит в теле. Смехотворно было бы требовать от часов, чтобы они показывали другое время, чем то, которое они показывают в действительности, и еще желать наказать их за это. И на том же основании было бы неправильно сердиться на марионетку за то, что она повернулась к нам спиной, после того как выполнила какие-то движения. В. В.

прекрасно понимает, что осуждать марионетку или подобные ей куклы за совершенные ими действия противоречило бы здравому смыслу. Все изменения, которые происходят в телах и относятся только к их состоянию — покоя или движения, — являются необходимым следствием действия соответствующих сил; и поскольку действие этих сил установлено, все изменения в теле не могут происходить иначе, нежели они происходят: а следовательно, все, что касается только тела, не подлежит ни осуждению, ни восхвалению. Как бы искусно ни была устроена машина, похвалы, которые мы ей расточаем, относятся не к ней, а к мастеру, который ее изготовил; сама же машина здесь ни при чем. И равным образом, если машина тяжеловесна и плохо сделана, то винить следует не ее, а мастера, на которого и ложится вся ответственность. Итак, если речь идет только о телах, то ни о какой ответственности не может быть и речи, а следовательно, к ним нельзя применить ни наказания, ни вознаграждения; все изменения и движения, происходящие в телах, являются необходимым следствием их устройства. Дух, однако, имеет совершенно иную природу, и вся его деятельность определяется прямо противоположными принципами. Свобода ни в коей мере не присуща природе тел, но является основным атрибутом духа: дух не может существовать без свободы, и именно свобода делает его ответственным за его действия. Это свойство столь же присуще духу, как протяженность и непроницаемость присущи телу. Даже всемогущий Бог не мог бы лишить тела их свойств, и равным образом Он не мог бы отнять у души ее свободу. Ибо дух без свободы — уже больше не дух, так же как тело без протяженности перестает быть телом.³

Но свобода влечет за собой возможность греха. Бог, сотворив души, наделил их тогда же стремлением к греху; было бы невозможно избежать греховности, не посягнув на самое сущность духа, вернее, не уничтожив его, поэтому безосновательны все жалобы на свойственную человеку греховность⁴ и на ее пагубные последствия; они никак не затрагивают Божьей благодати.

Во все времена философам и теологам было крайне трудно ответить, почему Бог мог допустить существование греховности в нашем мире? Но если бы они думали о том, что души людей по своей природе свободны, они не были бы в таком затруднении. Привожу далее возражения, выдвигаемые обычно против свободы. Так, говорят, что дух или, лучше сказать, человек решается на какое-либо действие, только руководствуясь какими-то мотивами; взвесив все за и против, он в конце концов принимает решение, которое считает наиболее для себя подходящим. Отсюда делают вывод, что мотивы определяют поступки людей таким же образом, как удар, нанесенный по шару на бильiardном столе, обуславливает его движение; и, следовательно, действия людей столь же несвободны, как и движения шаров.⁵

Однако нужно принять во внимание, что мотивы, побуждающие предпринять какое-либо действие, соотносятся с нашей душой совершенно иначе, чем удар, приводящий в движение шар. Этот удар неизбежно окажет

свое действие, между тем как мотив, каким бы он ни был сильным, не исключает волевого характера действия, не препятствует тому, что поступок остается добровольным. Так, например, у меня были важные мотивы для того, чтобы предпринять путешествие в Магдебург: я должен был выполнить свое обещание и иметь счастье засвидетельствовать свое почтение В. В. Однако я чувствую, что ничто меня к этому не принуждало, и я волен совершить это путешествие или остаться в Берлине. Между тем тело, на которое воздействует какая-нибудь сила, повинуетея ей по необходимости, и мы уже не можем сказать, в его ли власти подчиниться, или нет. Мотив, который заставляет наш дух принимать то или иное решение, коренным образом отличается от причины, или *силы*, воздействующей на тела. В последнем случае результат неизбежен, тогда как в первом случае — результат всегда зависит от нашей воли и подвластен нашему духу. Именно на этом основано *вменение* действий нашего духа, который несет за них ответственность; это и есть истинное основание представлений о справедливом и несправедливом.⁶ Если только установить это коренное различие между духом и телом, то понятие свободы уже не будет заключать в себе ничего противного разуму.

16 декабря 1760 г.

Письмо 86

На ту же тему

Отмеченное мною различие между *мотивами*, согласно с которыми осуществляется деятельность духа, и *причинами* или силами, воздействующими на тела, раскрывает нам истинную сущность свободы. Пусть только В. В. представит себе марионетку, столь искусно изготовленную, что с помощью пружинок и колесиков она может приблизиться к моему карману и извлечь из него часы так, что я ничего не замечу. Поскольку такое действие является необходимым следствием механического устройства, то его нельзя рассматривать как кражу, и я бы всех насмешил, если бы вздумал рассердиться и вздернуть на виселицу эту марионетку. Все скажут, что марионетка ни в чем не повинна или, вернее, неспособна совершить неблагоприятный поступок; поэтому для механической игрушки совершенно безразлично, приговорят ли ее к повешению или даже возведут на престол. Однако если мастер изготовил такой механизм с намерением обокрасть порядочных людей и обогатиться от таких краж, то при всем том, что его искусство приведет меня в восторг, я буду вправе объявить его вором перед судебными властями. Следовательно, даже в подобном случае ответственность за преступление падет на разумное существо, или духовные сущности, ибо только эти последние ответственны за свои действия.

Пусть каждый внимательно присмотрится к своим поступкам, и он обнаружит, что ничто не принуждало его их совершить, хотя его и побуждали к этому определенные мотивы. Если его поступки благовидны, он чувствует, что достоин похвал, которые ему расточают. Даже если он и заблуждается в других своих суждениях, в данном случае он не ошибется;¹ чувство собственной свободы у него столь тесно связано с самой свободой, что одно неотделимо от другого. Можно сомневаться относительно свободы другого человека, но нельзя ошибиться относительно собственной. Какой-нибудь крестьянин, например, увидев упомянутую мною выше марионетку, может вообразить, что это такой же вор, как и все другие, действующий столь же свободно: в данном случае он ошибется, но относительно собственной свободы он никогда не допустит ошибки; поскольку он считает себя свободным, он и на самом деле свободен. Может также случиться, что тот же крестьянин, убедившись в своей ошибке, будет затем рассматривать какого-нибудь мошенника как машину, лишенную всякого чувства и свободы, и таким образом допустит противоположную ошибку. Но опять-таки относительно самого себя он никогда не ошибется. Было бы нелепостью допустить, что часы воображают, что их стрелка поворачивается совершенно свободно, показывает сейчас девять часов, потому что им так этого хочется, и могла бы показывать другое время, если бы часы сочли это уместным, что было бы, конечно, заблуждением со стороны часов. Но такое предположение само по себе абсурдно. В таком случае прежде всего надобно было бы приписать часам чувство и воображение, что предполагает наличие в них духа или души, необходимым атрибутом которой является свобода, — после этого рассматривать часы как подлинный механизм, лишенный всякой свободы, что было бы очевидным противоречием.

Против свободы выдвигается еще и другое возражение, выводимое из понятия *предвидения* Бога. Бог, как утверждают, предвидел на вечные времена все мои решения или поступки, которые я совершу в любой момент моей жизни. Так, если Бог предусмотрел, что я буду сейчас продолжать писать, затем отложу свое перо и встану, чтобы совершить небольшую прогулку, то в таком случае мои поступки не были бы больше свободны. Тогда то, что я пишу, бросаю перо и выхожу на прогулку — стало бы необходимостью; мне было бы невозможно делать что-то другое, поскольку Бог не может ошибаться в своем предвидении. Это возражение нетрудно опровергнуть. Из того обстоятельства, что Бог предусмотрел на веки вечные, что я в такой-то день совершу определенный поступок, еще не следует, что я на самом деле его совершу, и только потому, что это было Божье предвидение. Ибо, без всякого сомнения, нельзя утверждать, что я продолжаю писать оттого, что Бог это предусмотрел; наоборот, поскольку я считаю нужным продолжать писать, Бог предусмотрел, что я это буду делать. Таким образом, предвидение Божье нисколько не лишает меня свободы; и все мои поступки останутся свободными независимо от того, предвидел ли их Бог или нет.

Некоторые философы, однако, желая защитить свободу, позволили себе отрицать предвидение Бога; В. В. будет нетрудно понять ложность этого мнения. Что удивительного в том, что Бог, мой Создатель, знающий все мои наклонности, может предвидеть влияние любого мотива на мою душу, а следовательно, и все решения, которые я приму в соответствии с этими мотивами, если даже мы, жалкие смертные, часто способны к такому предвидению?

Пусть только В. В. вообразит себе человека чрезвычайно скупого, которому представляется удобный случай хорошо нажиться. В. В., конечно, не усомнится в том, что этот человек не преминет воспользоваться таким случаем. Однако такое предвидение В. В. ни к чему не принуждает этого человека; он решается на этот поступок по своей доброй воле, и так, как если бы В. В. и не благоволила даже о них думать.

Итак, поскольку Бог знает людей и все их склонности гораздо лучше, нельзя сомневаться в том, что Он может предвидеть все поступки, которые они совершат при любых обстоятельствах. Это предвидение Божье, касающееся свободных действий души, основано на совершенно ином принципе, чем предвидение изменений, которые должны произойти в телесном мире, где все совершается по необходимости. Следует остановиться на этом различии, которое и будет темой моего следующего письма.

20 декабря 1760 г.

Письмо 87

О влиянии свободы на события в мире

Если бы в мире были одни только тела и если бы все происходящие в них изменения необходимо вытекали из законов движения и соответствовали силам взаимодействия тел, тогда все события стали бы неизбежными и зависели бы от первоначального миропорядка, установленного Создателем. Как только этот миропорядок был установлен, в дальнейшем уже не могли бы происходить иные события, чем те, которые происходят в нем на самом деле. В таком случае Вселенная, бесспорно, стала бы просто машиной, подобной часам, стрелки которых, однажды заведенные, производят в дальнейшем все те движения, по которым мы определяем время.¹ Пусть В. В. представит себе часы с курантами; когда они отрегулированы надлежащим образом, то все производимые ими движения и мелодии обусловлены их устройством и мастеру уже нет надобности снова прикладывать к этому руку; все это происходит, как говорят, механически. Если мастер притронется к таким часам, чтобы сменить стрелку или цилиндр, от которого зависит музыка, или же просто чтобы их завести, то это будет внешним действием, не произведенным механическим устройством; такое действие уже не считается механическим.

Равным образом если Бог как владыка Вселенной внезапно изменил бы как-то ход событий, то такое изменение уже не зависело бы от действия механизма: это было бы чудо. Чудо, следовательно, есть прямой результат всемогущества Божьего, и оно не могло бы произойти, если бы Бог предоставил механизму Вселенной идти своим ходом. В таком состоянии находился бы мир, если бы в нем были только физические тела. Тогда можно было бы утверждать, что все события происходят в силу неуклонной необходимости, причем каждое из них является неизбежным следствием общего мирового порядка; однако если только Бог не совершит чуда.

То же самое имело бы место, если принять теорию предустановленной гармонии, хотя она и допускает существование духовных субстанций: согласно этой теории, дух не оказывает никакого влияния на тело, которое совершает все свои действия и движения исключительно благодаря исконным особенностям своего раз и навсегда данного устройства. Так, если я поднимаю руку, то это движение является столь же необходимым следствием устройства моего тела, как и движение колесиков часов. Моя душа нисколько этому не способствует. Это Бог создал изначально материю так, что мое тело неизбежно должно было появиться на свет в назначенное время, а рука моя должна была подняться в тот момент, когда этого захочет моя душа. Таким образом, моя душа не оказывает никакого воздействия на мое тело, так же как и души других людей и животных. Следовательно, согласно этой теории, весь мир состоит только из тел, и все события являются необходимым следствием изначального миропорядка, созданного Богом. Однако, если только предоставить душам людей и животных некоторую власть над их телом, чтобы вызывать в нем движения, которые одно только телесное устройство не смогло бы произвести, тогда уже нельзя считать систему мира просто машиной, а все события происходящими в силу необходимости,² как это утверждалось в предшествующем случае. В мире тогда будут двоякого рода явления: одни из них, не подвластные воздействию духа, будут телесными или зависящими от механизма мироздания, как например движения и явления в небесном пространстве; они происходят с той же непреложностью, как и ход часов, и зависят исключительно от изначального устройства мира. Другие же, зависящие от деятельности души у людей и животных, связанной с их телом, уже не являются необходимыми, как предыдущие, но определяются свободой этих разумных существ. Сочетание этого двоякого рода явлений отличает Вселенную от простой машины, возвышает ее и делает ее бесконечно более достойной всемогущества Творца, который ее создал. Потому-то мировой порядок всегда будет внушать нам самое возвышенное представление о мудрости и благодати Бога.

Итак, не подлежащее сомнению, что свобода, это неотъемлемое свойство души, оказывает огромное влияние на события, происходящие в мире. В. В. стоит только подумать о пагубных следствиях нынешней войны,³ вызванных действиями людей, их прихотью или произволом. Вместе с тем представ-

ляется очевидным, что события в мире не зависят единственно от прихоти или воли людей и животных. Власть прихоти и воли весьма ограничена и распространяется лишь на небольшой участок в мозгу, где сходятся все нервы; воздействием на них можно лишь сообщить членам тела некоторое движение, которое затем передается другим телам, воздействующим в свою очередь на следующие, и т. д.; таким образом, малейшее движение моего тела способно оказать большое влияние на множество событий и даже привести к очень серьезным последствиям. Человек, однако, хоть и властен над первичным движением своего тела, не может влиять на сами эти вызванные им последствия. Они зависят от стольких сложных обстоятельств, что самый проницательный ум не в состоянии их предусмотреть; поэтому мы и наблюдаем ежедневно, как терпят неудачу столь многие планы, какими бы они ни были продуманными. Но именно в этом следует видеть проявление всемогущества и провидения Бога; предвидя на вечные времена все решения, планы и волевые действия людей, Он устроил телесный мир так, что в нем беспрестанно возникают обстоятельства, приводящие к успеху или к крушению этих намерений в зависимости от того, как это будет угодно премудрости Божьей. Бог, следовательно, властвует безраздельно над всеми событиями в мире, несмотря на то что люди обладают свободой; ибо все проявления этой свободы уже изначально входили в план, намеченный Богом при сотворении мира. Это размышление приводит нас в глубочайший восторг и восхищение перед беспредельным совершенством Создателя, ибо мы видим, что в мире нет такой ничтожной твари, которая не была бы достойна занять свое место в изначальном плане мироздания, намеченном Богом. Но эта тема уже выходит за ограниченные пределы нашего понимания.

23 декабря 1760 г.

Письмо 88

О событиях естественных, сверхъестественных и моральных

В повседневной жизни точно различают явления, вызванные одними только физическими причинами, и явления, происходящие с участием людей и животных. Первые называются природными явлениями, или явлениями, зависящими от естественных причин; таковы движения небесных светил, затмения, бури, ветры, землетрясения и т. п. Их считают природными, поскольку подразумевается, что ни люди, ни животные не принимают в них никакого участия. Но если бы, например, как это думают суеверные люди, колдуны могли вызывать бурю,¹ то уже нельзя было бы сказать, что такая буря — природное явление. Отсюда В. В. должно быть понятно, что к при-

родным явлениям можно отнести лишь те, которые происходят в силу только физических причин, причем ни один человек или животное никак в них не участвуют. Когда, например, мы видим дерево, вырванное с корнем порывом ветра, то говорим, что это явление произошло в силу естественных причин. Но если то же дерево срубили люди или же его повалил слон своим хоботом, то никто уже не счел бы такое явление естественным. Равным образом, когда наши поля опустошает наводнение или град, то говорят, что это бедствие наступило вследствие естественных причин; но когда такое разрушение совершает неприятель, то никто уже не назовет такую причину естественной. Если подобное несчастье было бы вызвано чудом или прямым вмешательством Бога, то сказали бы, что причина его — сверхъестественна; если же его виновниками были люди или животные, то его не назовешь ни естественным, ни сверхъестественным. Его называют просто действием; это означает, что оно не является ни естественным, ни сверхъестественным. Лучше было бы назвать его *моральным*, поскольку оно зависит от свободы разумного существа. Так, например, Квинт Курций² в своем описании деяний Александра Великого³ познакомил нас с событиями, вызванными свободными решениями этого героя. Действие такого рода предполагает всегда свободное решение разумного существа, зависит от его воли и ему подвластно. Я подчеркиваю «подвластно», ибо есть множество действий, которыми мы не можем управлять, как бы мы к этому ни стремились, так как эти действия не в нашей власти. Так, например, я не могу управлять даже всеми процессами, происходящими в моем теле: движение моего сердца и крови по сосудам не зависит от моей воли⁴ или от велений моей души в отличие от того действия, которое я совершаю, когда пишу это письмо. Есть также процессы, которые в равной мере относятся и к той, и к другой категории: например, дыхание не зависит полностью от моей воли, но я могу его ускорить или задержать до известного предела.

В нашем языке недостает подходящих слов, чтобы обозначить все различные явления, происходящие в мире. Есть такие, которые зависят исключительно от естественных причин и обусловлены самим устройством материального мира; поскольку эти явления неизбежно должны произойти, то знание этого устройства дает нам возможность предсказать многие из них на каждый данный период, как например положение небесных светил, затмения и другие, связанные с ними явления.

Но существуют также события, зависящие только от воли свободных и наделенных разумом существ, иначе говоря, действия всякого человека и животного. Что касается первых, то здесь невозможно что-либо предвидеть, разве только по одним догадкам, причем чаще всего мы допускаем здесь грубые ошибки. Только Бог обладает этим даром предвидения в высшей степени. От этих двух видов явлений ведут свое начало явления третьего вида: в этом случае естественные причины сочетаются с другими, зависящими от существа, наделенного свободой. Примером может служить миллиард. Когда бьют по

шару, удар зависит от воли игрока. Но как только шарам дан толчок, их последующее движение и столкновения друг с другом или с бортом стола уже необходимо обусловлены законами движения.

Вообще говоря, большинство событий, происходящих на Земле, следует отнести к этому виду, поскольку почти не встречается таких, где бы не проявилось какого-то воздействия людей и животных. Обработка полей требует вначале сознательной деятельности людей и животных, но в дальнейшем все уже зависит от чисто естественных причин. А если подумать о пагубных следствиях пынешней войны,⁵ не обусловлены ли они естественными причинами в такой же мере, как и произвольными действиями людей?!

Ввиду этого крайне важно отметить, что Бог проявляет свою волю совершенно по-разному в отношении физических тел и духовных субстанций. Для первых Бог установил законы покоя и движения, в соответствии с которыми все изменения в них происходят по необходимости; физические тела, будучи пассивными, либо сохраняют свое состояние, либо взаимодействуют с другими телами, как я уже имел честь объяснить В. В. С другой стороны, души не подчиняются никакой силе или принуждению и Бог управляет ими только посредством заповедей и запретов.⁶ Физическими телами Божья воля всегда управляет неукоснительно; с разумными же существами, как например с людьми, часто происходит обратное. Когда говорят, что Богу угодно, чтобы люди любили друг друга, то это совсем иное проявление Божьей воли; иными словами, это заповедь, которой люди должны следовать, но делают это далеко не всегда. Бог не принуждает людей, ибо такое принуждение противоречило бы свободе воли, неотъемлемо им присущей; Бог только побуждает их соблюдать эту заповедь, указывая им сильнейшие мотивы, основанные на их собственном спасении; люди же всегда вольны соотнобразовываться с ними или нет. Именно так следует понимать Божью волю, проявляемую по отношению к свободным действиям разумных существ.

27 декабря 1760 г.

Письмо 89

Вопрос о лучшем из миров и о происхождении зла и грехов

О том, является ли наш мир наилучшим или нет, спорят столь часто,¹ что вопрос этот не мог остаться неизвестным В. В. Без сомнения, в нашем мире нет полного соответствия с планом, намеченным Богом при его сотворении; об этом свидетельствует и само Св. Писание.² Что касается тел и материальных предметов, то они так организованы и устроены, что невозможно желать ничего лучшего. Пусть только В. В. вспомнит изумительное устройство глаза; нельзя не согласиться, что все части глаза и их

строение наилучшим образом соответствуют своему назначению — отчетливо изображать внешние объекты.³ Сколько искусства требовалось для того, чтобы глаз мог сохранять это совершенное устройство в течение всей жизни; чтобы соки, входящие в состав глаза, не разрушались со временем, обновлялись и сохранялись в надлежащем состоянии! Все это выше нашего разума. Такое же совершенное устройство находим в других органах нашего тела, а также в органах всех животных и даже самых ничтожных насекомых. Именно из-за крайне малой величины этих последних совершенство их строения нас восхищает, тем более что оно полностью согласно с потребностями каждого вида. Возьмем, например, зрение насекомых, которое позволяет им различать мельчайшие и настолько близкие к ним объекты, что они совершенно недоступны нашему зрению; уже один этот пример преисполнит нас восхищением. Такое же совершенство находим в растительном царстве: все там способствует развитию и росту растений, появлению цветов, плодов или семян. Какое чудо, когда мы видим, как из маленького семени, брошенного в землю, вырастает растение или дерево, и все это только благодаря питательным сокам, содержащимся в земле! То, что мы находим в недрах земли, не менее поразительно. Мы не смогли бы постичь всех чудесных особенностей царства природы, потратив на это все свои силы! И уже совершенно тщетными окажутся наши старания понять, как все элементы — земля, вода, воздух и тепло — способствуют возникновению организмов, а также — насколько совершенное устройство всех небесных тел, полностью согласное с предустановленными целями.

После таких рассуждений В. В. будет уже трудно понять, что когда-либо могли быть люди, которые полагали весь мир созданным по воле случая, без всякого обдуманного плана.⁴ Однако люди с такими взглядами существовали во все времена, они есть и теперь. Но это те, которые не обладают подлинным знанием природы, или, вернее, боятся, что вынуждены будут признать существование Всевышнего, что и приводит к столь целепым утверждениям. Но мы убеждены, что Всевышний существует, что он сотворил весь мир и, как я уже отметил, все, что относится к миру телесному, было им создано самым совершенным образом.

Что же касается духа, то людская злоба, по-видимому, оказывает на него пагубное влияние, ибо от нее могут произойти в мире величайшие бедствия, которые всегда казались несовместными с высочайшей благостью Божьей. Именно это дает в руки неверующих оружие против религии и против существования Бога. Они говорят: если бы Бог был творцом Вселенной, то он являлся бы и виновником всякого зла, а следовательно, и греха; а это было бы ниспровержением религии.

Вопрос о происхождении зла и о том, как зло совместимо с высшей благостью Бога, всегда мучил философов и теологов.⁵ Некоторые из них пытались его объяснить, но удовлетворили этим объяснением только самих себя. Другие впали в такое заблуждение, что объявили Бога подлинным

творцом всякого зла и греха, уверяя при этом, что их мнение никоим образом не посягает на благость и святость Бога. Иные, наконец, считают этот вопрос непостижимой для нас тайной, и они, без сомнения, избирают наилучшее решение.

Бог — всеблаг и всесвят; Бог — творец Вселенной; в мире изобилуют зло и греховность. Таковы три истины, которые, по всей видимости, трудно примиримы. Однако, мне кажется, что большая часть сложностей отпадет, если только иметь правильное понятие о природе духа и о свободе, столь неотъемлемо ему присущей, что и сам Бог не может ее отнять.

Итак, Бог — творец духа и душ людей; здесь я хотел бы прежде всего отметить, что дух есть творение бесконечно более совершенное, чем тело, и является самой главной частью живого существа. При сотворении мира все духовные сущности были совершенны, так как для развития дурных наклонностей требуется некоторое время; следовательно, можно, ничем не поступаясь, признать, что духовные сущности созданы Богом. Но так как дух по своей природе свободен, а свобода не может существовать без возможности или способности грешить, то и создание духа, способного грешить, не противоречит совершенству Бога, поскольку невозможно сотворить дух, лишенный этой возможности. Бог также сделал все для предупреждения греха, даровав людям заповеди, исполнение которых сделало бы их навсегда добрыми и счастливыми. Нет другого способа воздействовать на дух, ибо никакое принуждение здесь неприменимо.

Следовательно, если кто нарушал заповеди, то он сам в этом виноват и несет за это ответственность, а Бог здесь ни при чем.

Остается еще одно возражение: полагают, что лучше было бы не создавать такие души, которые, как это Бог и предвидел, будут неминуемо грешить. Но это уже превыше нашего понимания, ибо нам неизвестно, было ли отпадение этих душ предусмотрено в плане мироздания. Мы даже знаем из опыта, что злоба одних людей часто способствует исправлению других и делает их счастливыми. Только одного этого соображения достаточно, чтобы оправдать существование злых душ в нашем мире. К тому же, поскольку последствия злых поступков подвластны Богу, то каждый может быть уверен, что, если он поступает согласно заповедям Божиим, все происходящие с ним события, сколь пагубными они бы ему ни казались, всегда будут направляться Провидением, и в конце концов приведут его к истинному счастью.

Признание Божьего Провидения, распространяющегося на каждую отдельную личность, позволяет в то же время наиболее правильно решить вопрос о происхождении и дозволенности зла. На этом основана любая религия, единственная цель которой — привести людей к спасению.⁶

Письмо 90

*Связь предшествующих соображений с религией
и ответ на возражения, выдвигаемые почти всеми
философскими системами против молитвы*

Прежде чем продолжить рассуждения на философские и физические темы, я считаю чрезвычайно важным обратить внимание В. В. на их связь с религией. Какими бы странными и абсурдными не были взгляды какого-либо философа, он так упрямо их отстаивает, что не допускает уже никакого утверждения или догмы в религии, несогласной с его теорией. Отсюда и берет свое начало большая часть сектантских учений и религиозных ересей. Некоторые философские теории действительно противоречат религии, но в таком случае божественные истины должны были бы одерживать верх над человеческими заблуждениями, если бы тщеславие философов не ставило этому преград. Но если в противоречие с религией вступала иногда истинная философия, то это разногласие между ними — только видимое, и мы не должны дать обольстить себя предлагаемыми возражениями.

Я познакомлю В. В. с одним возражением против молитвы, которое можно встретить почти во всех философских теориях. Религия предписывает нам этот долг, а также вселяет уверенность, что Бог услышит наши обеты и молитвы, если только они согласны с установленными правилами. С другой стороны, философия учит, что все события в этом мире происходят в соответствии с естественным ходом вещей, установленным изначально, и что наши молитвы не могут ничего в нем изменить, если только не утверждать, что Бог постоянно совершает чудеса, внемля нашим молитвам. Это возражение тем более основательно, что само божественное откровение убеждает нас в том, что Бог установил весь ход мировых событий и что ничто не может произойти, чего Творец не предусмотрел извечно. Так можно ли думать, что Бог захочет изменить этот предустановленный ход событий, вникая молитвам, которые обращают к нему верующие? Говоря так, неверующие стремятся поколебать нашу веру.

В связи с этим хочу прежде всего отметить следующее: установив ход событий и предопределив все, что должно в мире произойти, Бог в то же время предусмотрел все обстоятельства, сопутствующие каждому событию, в частности намерения, обеты и молитвы каждого разумного существа; таким образом, ход всех событий был приведен в полное соответствие со всеми этими обстоятельствами. Следовательно, когда верующий обращается к Богу с молитвой, достойной того, чтобы быть услышанной, не следует думать, что эта молитва только теперь дошла до Бога. Он уже ископи услышал эту молитву, и поскольку милосердный Отец счел ее достойной быть услышанной, то и устроил мир так, чтобы исполнение ее было следствием естественного хода

событий. Таким образом, Бог, внимая молитвам верующих, не творит чудеса, хотя нет оснований отрицать, что Бог творил и творит иногда и теперь подлинные чудеса.¹

Итак, то, что ход событий в мире был раз и навсегда установлен, не только не делает бесполезными наши молитвы, как это утверждают вольнодумцы, но, скорее, укрепляет в нас веру, внушая нам утешительную истину, что все наши молитвы изначально предстояли пред престолом Всемогущего и заняли свое место в плане мироздания как побудительные причины, определяющие события в соответствии с бесконечной премудростью Творца. Может ли кто-нибудь подумать, что наше существование было бы лучше, если бы Бог ничего не знал о молитвах наших до того, как мы обратим их к нему, и только тогда, внемля этим молитвам, захотел бы нарушить естественный ход событий? Это противоречило бы мудрости Творца и умалило бы его совершенства, которыми мы так восхищаемся. Разве это не дало бы оснований утверждать, что наш мир весьма несовершенен? И что Бог хотел бы исполнить молитвы верующих, но, не предусмотрев их заранее, был вынужден постоянно нарушать естественный порядок вещей, если только он не хотел всецело пренебречь нуждами разумных существ, составляющих, однако, основную часть Вселенной? Ибо зачем было создавать этот материальный мир, полный всяких чудес, если бы не существовало разумных существ, которые могли бы им восхищаться,² проникаясь в то же время благоговением и чувствуя свое полное единение с его Создателем, в чем и состоит, без сомнения, их высшее блаженство?

Это убеждает нас, что наличие разумных существ и их спасение были главным, чем руководствовался Бог, устанавливая мировой порядок; и мы можем быть уверены, что все события, происходящие в мире, самым поразительным образом связаны с нуждами всех разумных существ и должны вести их к истинному блаженству. Однако никакое принуждение не может здесь иметь места из-за свободы, которая столь же присуща всем разумным существам, как протяженность — телам физическим. Поэтому не следует удивляться, что есть существа, одаренные разумом, которые никогда не обретут счастья.

Именно в этой связи духа с мировыми событиями и заключается Божественное Провидение, и каждого должна утешать мысль, что на нас распространяется его воля. Всякий человек может быть уверен, что он включен в план мироздания во веки веков и что все, что с ним происходит, теснейшим образом связано с его насущными нуждами и ведет его к спасению. Сколько это соображение должно укрепить нашу веру и наше упование на Божье Провидение, на котором основана вся наша религия! Это убедит В. В. в том, что с этой стороны философия не может никак посягнуть на религию.³

Письмо 91

*О свободе разумных существ
и о том, что она не противоречит
догмам христианской религии*

Свобода — вот качество, настолько неотъемлемо присущее всякому разумному существу, что и сам Бог не может отнять ее, как он не может лишить тело протяженности или инерции, не разрушив его или полностью не уничтожив. Равным образом лишить дух свободы означало бы его уничтожить. Это касается только самого духа или души, а не действий тела, которые душа вызывает по своей воле. Довольно связать мне руки, чтобы лишить меня возможности писать — что является, без сомнения, свободой действия. Но в этом случае, хотя и можно сказать, что меня лишили свободы писать, на самом же деле лишили только мое тело способности подчиняться велениям души. Хотя я и связан, нельзя заглушить в моей душе желания писать; можно только помешать исполнению этого желания. Следует всегда отличать волю или сам акт желания от их исполнения, которое осуществляется с помощью нашего тела. Сам акт воли не может быть приостановлен какой-либо внешней силой, даже велением Бога, ибо свобода не зависит ни от какого внешнего воздействия.

Существуют, однако, другие способы воздействовать на наш дух, а именно посредством мотивов, цель которых — не принуждать, а убеждать. Когда человек твердо решил совершить какое-либо действие, то даже если помешать его исполнению, нельзя изменить ни воли его, ни намерения; однако можно представить ему такие мотивы, которые заставят его отказаться от своего намерения, причем без всякого принуждения. Как бы ни были сильны эти мотивы, человек всегда остается владыкой своих желаний. Нельзя сказать, что его к этому принудили силой, это было бы неподходящее выражение; правильное будет употребить слово «убедить», столь точно соответствующее природе и свободе разумных существ, что его не следовало бы применять в других обстоятельствах. Было бы, например, смешно, если бы, играя на бильярде, я стал бы утверждать, что убедил шар упасть в лузу.

Некоторые, однако, полагают такое мнение о свободе духа противоречащим религии, или, вернее, отдельным изречениям Св. Писания, убеждающим якобы в том, что Бог может в одно мгновение превратить величайшего злодея в добродетельного человека. Мне это кажется не только невозможным, но и противоречащим самым непререкаемым изречениям Св. Писания. Ибо поскольку Бог хочет не смерти грешника, но его обращения при жизни, то отчего же тогда одним проявлением своей воли Бог не обратит к вере всех грешников? Может быть, не желая преумножать чудеса, как говорят некоторые? Но ведь такого рода чудо наилучшим образом достигало бы цели и более соответствовало бы намерению Бога даровать счастье всем людям. Отсюда я

заключаю, что если такого чудесного обращения не происходит, значит, причина этому коренится в самой природе духа, точнее, в свободе, которая по своей природе не терпит никакого принуждения, даже исходящего от Бога.¹

Не воздействуя, однако, на дух силой принуждения, Бог в то же время располагает бесчисленным множеством средств убеждать людей посредством мотивов; и я полагаю, что все случайные обстоятельства, в которых мы можем оказаться, настолько приведены Провидением в соответствие с нашим состоянием, что даже закоренелые злодеи могут найти в них убедительнейшие мотивы для своего обращения, если только они захотят к ним прислушаться. И я уверен, что никакое чудо не сможет произвести более сильного впечатления на испорченные умы: чудо поразит их ненадолго, но по сути своей они не станут от этого лучше. Именно так Бог способствует спасению грешников, предоставляя им возможность почерпнуть самые действенные мотивы из тех случаев и обстоятельств, с которыми он их сталкивает.

Если, например, грешник под впечатлением прекрасной проповеди, которую он слышал, углубится в самого себя и обратиться к вере, то этот душевный акт произойдет по его собственной воле; но то обстоятельство, что он услышал эту проповедь именно в то время, когда он был расположен извлечь из нее урок, нисколько не его заслуга. Божественное Провидение предоставило ему этот спасительный случай. Именно это имеет в виду Св. Писание, столь часто объясняющее обращение грешников Божественной благодатью. На самом деле если бы не случай, который не зависел от воли человека, он продолжал бы пребывать в грехе. В. В. теперь легко поймет смысл этого изречения: «Человек ничего не может совершить самовольно, все зависит от Божьей благодати, и Бог определяет желание и исполнение».² Чтобы разъяснить смысл этих изречений, достаточно сослаться на благоприятные обстоятельства, порождаемые Провидением, и нам уже нет нужды прибегать к некоей тайной силе, которая действует принуждением на свободную волю людей.

Рассмотрим в связи с этим знаменитый спор³ между пелагианами, полупелагианами⁴ и ортодоксами. Первые утверждали, что грешники могут обратиться к вере без помощи Божественной благодати. Согласно мнению вторых, благодать Всемогущего способствует обращению грешников, но они также должны приложить для этого усилия. Ортодоксы же считают, что человек никак не способствует своему спасению и что оно целиком зависит от Божественной благодати. В соответствии с объяснениями, приведенными мною выше, можно принять каждое из этих мнений, если только исключить из них некоторые нелепые суждения, а именно те, которые лишают людей свободы или же приписывают случайности все обстоятельства, с которыми они встречаются.

Основное и важнейшее положение религии гласит: все обстоятельства с величайшей мудростью предугазаны Богом, чтобы привести всякое разумное существо к счастью и к спасению, если только это существо не отвергнет полностью средства, позволяющие ему достичь истинного блаженства.

Письмо 92

*Дальнейшие разъяснения
относительно природы духовных субстанций*

Различие между телом и духом требует от нас самого пристального внимания, ибо оно столь велико, что дух уже не имеет ничего общего с телом, а тело — с духом; поэтому чтобы лучше выяснить это различие, необходимо к тому, что я уже об этом говорил, добавить еще следующие соображения.

Протяженность, инерция и непроницаемость — свойства физических тел; духовные субстанции не обладают ни одним из этих свойств. О протяженности все философы сходятся во мнении, что она не присуща духовным субстанциям. Этот вопрос сам по себе ясен, поскольку всякая протяженная субстанция будет также делимой, т. е. в ней можно различить отдельные части. Дух же неделим — невозможно представить себе половину или третью часть духа.

Всякий дух — это цельная сущность, не состоящая из отдельных частей, следовательно, нельзя сказать, что дух имеет ширину, длину или глубину. Одним словом, все, что мы понимаем под протяженностью, должно быть исключено из понятия духа. Но тогда нам может показаться, что, поскольку дух не обладает протяженностью, он подобен геометрической точке, которая также не имеет ни длины, ни ширины, ни глубины. Именно так и думали философы схоластики!¹ Они представляли себе духовные сущности в виде бесконечно малых частиц, подобных тончайшей пыли, но необычайно деятельных и подвижных; благодаря этим свойствам они способны в одно мгновение перелетать громадные пространства. Из-за своих чрезвычайно малых размеров миллионы таких духовных сущностей могут, по мнению этих схоластиков, находиться в крайне малом пространстве. Они даже обсуждали вопрос о том, сколько душ может танцевать на острие иглы.²

Последователи Вольфа придерживаются примерно того же мнения. Они утверждают, что все тела состоят из мельчайших частиц (не имеющих протяженности), которые они называют монадами; так что монада — это непротяженная субстанция. Иными словами, разделив какое-либо тело на столь малые частицы, что уже дальнейшее их деление станет невозможным, мы получаем вольфианские монады, которые отличаются от тончайшей пыли только тем, что молекулы пыли не столь малы, и нужно было бы их еще делить, чтобы получить настоящие монады. По мнению г-на Вольфа, не только все физические тела состоят из монад, но и дух есть не что иное, как монада; и сам Всевышний, едва осмеливаюсь это повторить, является такой монадой; что создает весьма нелестное представление о Боге, о духе и о наших душах. Я не могу представить себе, что моя душа — создание, подобное самым ничтожным частицам тела, или что она не более как точка. Еще менее обоснованным кажется мне утверждение, что несколько душ, соединенных вместе, способны образовать тело, например клочок бумаги, который может послужить для рас-

куривания трубки. Однако приверженцы этого мнения выдвигают довод, что, поскольку дух не обладает протяженностью, он должен быть подобен геометрической точке. Все, следовательно, сводится к тому, чтобы доказать, обоснован этот довод или нет.

Прежде всего я хочу отметить, что поскольку духовная субстанция совершенно отлична по своей природе от тела, то в отношении духа недопустимы какие-либо вопросы, относящиеся к протяженности. Иными словами, нелепо было бы спрашивать, какова длина духа в футах или дюймах или сколько фунтов или унций он весит? Такие вопросы можно ставить только о предметах, имеющих длину или вес, применительно же к духу они столь же неуместны, как если бы, например, говоря о времени, захотели спросить, сколько футов имеет в длину один час? или сколько фунтов он весит? Я в любом случае могу сказать, что один час не будет равен отрезку в 100 футов, в 10 футов или в один фут, или другой мере длины; но отсюда отнюдь не следует, что час — это геометрическая точка. Час — величина совершенно иного рода, и применительно к нему был бы неуместен любой вопрос относительно длины, выражена она в футах или дюймах.

То же самое можно сказать и о духе. Я могу смело заявить, что дух не имеет в длину ни 10, ни 100 футов, ни вообще какого бы то ни было другого числа футов, но из этого вовсе не следует, что дух — это точка; так же, как не является точкой час, который нельзя измерить ни футами, ни дюймами. Дух, следовательно, не может быть монадой, подобной тем мельчайшим частицам, на которые делятся тела. Теперь В. В. легко поймет, что дух не имеет никакой протяженности, не являясь в то же время ни точкой, ни монадой. Само понятие протяженности должно быть исключено из понятия духа.

Также бессмысленно было бы спрашивать, в каком месте обитает дух, ибо отнеся дух к какому-либо месту, мы тем самым предположим наличие у него протяженности. Я не могу также сказать, в каком месте находится час, хотя час, без сомнения, это нечто существующее; таким образом, нечто может существовать, не будучи связанным с определенным местом.

Равным образом я могу сказать, что моя душа не обитает ни в моей голове, ни вне моей головы, ни где бы то ни было; но из этого не следует делать вывод, что моей души вообще не существует; так же и про теперешний час я могу с полной уверенностью сказать, что он не находится ни в моей голове, ни вне моей головы. Следовательно, дух существует, хотя он и не имеет определенного местопребывания. Но если мы подумаем о способности духа воздействовать на некое тело, то, без сомнения, допустим, что такое воздействие осуществляется в каком-то определенном месте.

Таким образом, моя душа не обитает в определенном месте, но ее действие проявляется в определенном месте. И поскольку Бог обладает властью над всеми телами, то и полагают, что он вездесущ, хотя и не пребывает в каком-то определенном месте.

Письмо 93

*Продолжение той же темы и размышления
о состоянии душ после смерти*

В. В. покажется должно быть очень странной мысль, высказанная мною в предыдущем письме, а именно, что дух в силу своей особой природы не обитает нигде. Отстаивая это мнение, я рискую прослыть человеком, отрицающим существование духа, а следовательно, также и Бога. Однако я уже отмечал, что вещь может действительно существовать, не занимая никакого места. Но вполне убедительный пример с часом позволяет устранить основные трудности, хотя между часом и духом существует бесконечно большое различие.

У меня, как мне кажется, сложилось значительно более возвышенное представление о духовных субстанциях, нежели у тех, кто рассматривает их как геометрические точки и распространяет это представление на самого Бога. Нет ничего более возмутительного, как уподоблять все души и даже Бога мельчайшим частицам, составляющим тело, и относить их к той же категории, что и эти жалкие пылинки, которых никак не облагораживает присвоенное им ученое название монад.

Находиться в определенном месте — это свойство, присущее только физическим телам; и поскольку у духа совершенно иная природа, не следует удивляться, когда говорят, что души не имеют обители, иными словами, не пребывают нигде. Благодаря приведенным выше разъяснениям я уже могу не опасаться, что меня будут за это упрекать. Тем самым я бесконечно возвышаю природу духа над природой тела. Дух — это мыслящая субстанция,¹ которая размышляет, рассуждает, обдумывает решения, действует по своей воле, одним словом, живет, тогда как тело обладает только протяженностью, непроницаемостью и способностью перемещаться. Из этого вытекает одно общее свойство, а именно способность каждого тела оставаться в неизменном состоянии до тех пор, пока не возникнет опасность проникновения. И в том случае, когда тела должны были бы проникнуть друг в друга, если бы не сохранили свое прежнее состояние, сама непроницаемость становится источником сил, изменяющих их состояние в той мере, в какой это необходимо, чтобы предотвратить всякое проникновение. К этому и сводятся все изменения, которые происходят в телах: они остаются пассивными; все совершается в силу необходимости и согласно с законами движения. Физические тела не наделены ни мыслью, ни волей, ни свободой. Эти высшие атрибуты присущи только духовным субстанциям, тогда как телесные субстанции не обладают ими ни в малейшей степени.

Именно в деятельности духа берут свое начало все поразительные явления и события, происходящие в материальном мире; и все это осуществляется благодаря действию и влиянию, которое человеческие души оказывают на при-

надлежащие им тела. Власть души над телом следует считать даром от Бога, установившего поразительную связь между духом и телом; и поскольку моя душа связана с некоей частью моего тела, скрытой в мозгу, то я могу сказать, что обиталище моей души находится именно в этом месте, хотя, строго говоря, душа моя не обитает нигде и может быть отнесена к этому месту только из-за того, что проявляет так свое действие и власть. От воздействия души на тело также зависит наша жизнь, которая продолжается до тех пор, пока существует эта связь и пока устройство тела сохраняет свою целостность. Смерть, следовательно, есть не что иное, как разрушение этой связи: нет необходимости, чтобы душа после этого переселилась в другое место, ибо все места безразличны для души, не имеющей определенного обиталища. Так, если Богу было бы угодно после моей смерти установить новую связь между моей душой и телом, находящимся на Луне, то я оказался бы в то же мгновение на Луне, не совершив для этого никакого путешествия. И даже если в настоящий момент Бог предоставил бы моей душе власть над телом, находящимся на Луне, то я был бы и здесь, и там, и в этом нет никакого противоречия. Только физические тела не могут находиться одновременно в двух местах; но что касается духовных субстанций, не связанных по своей природе ни с каким местоположением, то ничто не может помешать им действовать одновременно на несколько тел, расположенных чрезвычайно далеко друг от друга; исходя из этого, вполне можно сказать, что душа находится одновременно во всех этих местах.

Объяснение это позволяет нам понять вездесущность Бога; ибо власть Бога распространяется на всю Вселенную и на все тела, в ней находящиеся. Поэтому, мне кажется, не следует утверждать, что Бог существует повсюду, поскольку существование духа не соотносимо ни с каким местом; должно говорить, что Бог присутствует всюду: именно так гласит Св. Писание.

Сравним теперь эту мысль с воззрениями вольфианцев, которые представляют себе Бога в виде точки и относят его обиталище к определенному месту, так как точка и в самом деле не может находиться одновременно в нескольких местах. Но как можно примирить идею вездесущности Бога и тем более всемогущества Божьего с понятием точки? Поскольку смерть — это распадение связи между душой и телом, существующей в течение всей жизни, можно составить себе некоторое представление о состоянии души после смерти. Поскольку душа в течение жизни черпает свои знания через посредство органов чувств, то лишенная после смерти этих свидетельств, она уже ничего не может знать о том, что происходит в материальном мире. Душа оказывается примерно в таком же состоянии, в каком пребывает человек, ставший внезапно слепым, глухим, немым и лишенным всех прочих ощущений. Такой человек сохранил бы знания, приобретенные им до того с помощью органов чувств и мог бы продолжать размышлять; в особенности поступки, совершенные им самим, могли бы дать ему пищу для размышлений; наконец, способность рассуждать сохранилась бы у него полностью, поскольку тело не принимает в этой деятельности никакого участия.

Сон может служить прекрасным примером такого состояния, так как во время сна связь между душой и телом отчасти нарушена, хотя душа при этом не перестает быть активной и погружаться в видения, порожденные сном. Обычно сновидения нарушаются под влиянием чувств, которые еще продолжают воздействовать на душу; известно из опыта, что, чем более подавлено это влияние (что происходит при очень глубоком сне), тем более связный и последовательный характер носят сновидения. Таким образом, после смерти мы придем в состояние совершенных сновидений, которых уже ничто не сможет нарушить; это будут предельно ясные образы и размышления. И это, по моему мнению, все, что мы можем сказать определенного по данному поводу.

13 января 1761 г.

Письмо 94

Более детальные размышления о воздействии души на тело и обратно — тела на душу

Поскольку душа — главнейшая наша часть, она заслуживает того, чтобы мы попытались глубже вникнуть в сущность ее деятельности.

В. В. вспомнит, что связь между душой и телом заключается в двустороннем воздействии: с одной стороны, душа замечает и ощущает все, что происходит в некотором участке головного мозга; с другой — она способна воздействовать на эту часть мозга и вызывать там определенные изменения.

Анатомы приложили немало усилий к тому, чтобы обнаружить то место в мозгу, которое справедливо считают обиталищем души не потому, что душа в действительности там обитает (ибо она не имеет определенного местопребывания), но оттого, что именно здесь проявляется ее способность действовать. Можно сказать, что душа присутствует там, но не обитает, или, вернее, что ее существование не ограничено только этим местом. Без сомнения, это тот участок в мозгу, где сходятся все нервы. Анатомы же утверждают, что это происходит в определенной части мозга, которую они называют *мозолистым телом*. Именно это мозолистое тело и можно считать пристанищем души. Создатель наделил каждую душу такой властью над мозолистым телом, что она не только осведомлена обо всем, что там происходит, но и может определенным образом на него воздействовать. Итак, мы должны признать здесь наличие двустороннего влияния: с одной стороны, влияние тела на душу, с другой — влияние души на тело. Оба этих воздействия, однако, коренным образом отличаются от воздействий, которые одни тела оказывают на другие.

Благодаря такой взаимосвязи души с мозолистым телом душа оказывается соединенной со всем телом посредством нервов, расходящихся по всему телу. Нервы — это волокна, содержащие, по всей вероятности, тончайшую жидкость и столь изумительно устроенные, что малейшее раздражение одного окончания нерва незамедлительно передается в другое окончание в головном мозге,¹ где и находится обиталище души. И наоборот, малейшее действие души на первое окончание в мозолистом теле тотчас распространяется по всему нерву; таким путем мышцы и члены нашего тела приводятся в движение, повинаясь велениям души.

Изумительное строение нашего тела позволяет ему сохранить теснейшую связь со всеми объектами внешнего мира, как близкими, так и отдаленными. Первые могут воздействовать на наше тело или непосредственным прикосновением, как это происходит при осязании и вкусовых ощущениях, или же своими испарениями, как при обонянии. Отдаленные тела действуют на наш слух, когда они колеблются и вызывают в воздухе колебания, достигающие наших ушей; они также действуют на наше зрение, когда освещены и посылают в наш глаз световые лучи, которые есть не что иное, как колебания, распространяющиеся в среде более тонкой структуры, чем воздух, и именуемой *эфиром*. Таким образом, предметы, как близкие, так и далекие, могут воздействовать на наши нервы и вызывать в мозолистом теле некие изменения, воспринимаемые нашей душой.

Все, что вызывает возбуждение наших нервов, приводит к некоторому изменению в головном мозге; душа это улавливает и приобретает таким путем представление об объекте, явившемся источником возбуждения. Следовательно, в этом процессе есть два аспекта, подлежащие исследованию: один — телесный, или материальный, а именно, возбуждение, или изменение, вызванное в мозолистом теле; другой — нематериальный, или духовный, т. е. восприятие, или познание, которое извлекает из этого наша душа. Это, если уместно так выразиться, содержание процесса, происходящего в мозолистом теле, откуда берет начало все наше знание о внешнем мире.²

В. В. разрешит мне остановиться более подробно на этом важном вопросе. Рассмотрим сначала одно только чувство, а именно, обоняние: будучи самым простым, оно, по всей видимости, наиболее пригодно для целей нашего исследования. Предположим, что все другие чувства отключены и что к носу поднесена роза: запах, издаваемый этим цветком, вызовет сначала некое возбуждение обонятельных нервов, которые затем передается мозолистому телу и приводит там к соответствующему изменению; в этом и состоит материальная сторона процесса, происходящего в данном случае. Незначительное изменение в мозолистом теле воспринимается затем душой, которая приобретает таким путем представление об аромате розы. Именно здесь начинается духовный процесс, но как это происходит, мы не можем объяснить, поскольку все зависит от чудесного единения, которое Творец установил между душой и телом. Однако не подлежит сомнению, что, когда

упомянутое изменение происходит в мозолистом теле, в душе рождается представление о запахе, издаваемом розой, или же, иначе, созерцание этого процесса вызывает в душе некое представление, т. е. представление о запахе розы, и ничего больше; поскольку все другие чувства отключены, душа не может судить о свойствах предмета, вызвавшего это представление, — в подобном случае в душе возникает одно только представление о запахе розы.

Отсюда понятно, что душа не сама порождает это представление, которое не могло бы возникнуть, если бы не было розы. Кроме того, душа безразлична к наличию розы; восприятие этого представления ей приятно, она сама в какой-то степени в этом заинтересована. Поэтому и говорят, что душа чувствует запах розы, и это состояние называют *ощущением*.

То же самое можно сказать и о других чувствах. Каждый внешний объект, действующий на органы чувств, вызывает в мозолистом теле некое изменение, которое воспринимается душой с большим или меньшим удовольствием и позволяет ей получить соответствующее представление о предмете, вызвавшем это изменение. Возникновение этого представления сопровождается ощущением, которое будет тем сильнее и острее, чем интенсивнее возбуждение, испытываемое мозолистым телом. Так, душа, созерцая изменения, происходящие в мозолистом теле, приобретает представления и испытывает от этого чувство удовольствия или неудовольствия; все это мы называем ощущением.

17 января 1761 г.

Письмо 95

О способностях души и о суждении

Если бы у нас не было никаких других чувств, кроме обоняния, то наши познания были бы весьма ограничены; мы тогда не ощущали бы ничего, кроме запахов, а запахи, сколь они ни разнообразны, играют незначительную роль в деятельности нашей души, разве что приятные запахи оставляют в душе чувство удовольствия, а неприятные — неудовольствия. Из самого этого обстоятельства вытекает очень важный вопрос: почему один запах нам приятен, а другой неприятен? Нет никакого сомнения, что приятные запахи вызывают в мозолистом теле возбуждение иного рода, чем неприятные: но почему же тогда одно возбуждение в мозолистом теле может быть душе приятно, а другое неприятно и даже невыносимо? Причина этого различия не зависит ни от тела, ни от материи, ее следует искать в самой природе души, которая испытывает удовольствие от восприятия некоторых возбуждений, тогда как другие вызывают у нее неприятные чувства; поэтому истинная причина этого явления нам неизвестна. Отсюда можно понять, что душа не просто созерцает то, что

происходит в головном мозгу или в мозолистом теле, а дополняет ощущение суждением о приятном и неприятном. Следовательно, помимо способности восприятия, душа обладает еще совсем иным свойством, а именно способностью суждения, которое существенно отличается от простого представления о запахе.

Продолжая наше исследование только одного чувства обоняния, мы обнаруживаем еще и другие стороны деятельности души. При перемене запахов, если, например, после розы поднести к носу гвоздику, душа не только ощутит тот и другой запах, но и отметит также их различие. Отсюда следует, что душа сохраняет предыдущее представление для сравнения его с последующим; в этом и состоит *воспоминание*,¹ или память, благодаря которой мы в состоянии воспроизводить непосредственно предшествующие и прошлые представления. Истинное происхождение памяти нам пока еще совершенно неизвестно. Мы знаем только, что наше тело к этому причастно, ибо из опыта известно, что болезни и другие телесные расстройства часто ведут к ослаблению и даже к полной потере памяти. С другой стороны, очевидно, что память о представлениях — это результат деятельности самой души. Представление, возникшее в памяти, существенно отличается от представления, непосредственно вызванного каким-либо реальным объектом. Я помню, что я видел сегодня Солнце, но это представление будет совершенно иным, чем то, которое появилось у меня, когда я смотрел на Солнце.

Иные ученые полагают, что когда в памяти возникает какой-нибудь образ, то в мозгу происходит возбуждение, подобное тому, которое его породило. Но если бы это было так, я действительно увидел бы Солнце, и это уже не было бы только воспоминанием. Они также говорят, что возбуждение, связанное с процессом воспоминания, значительно слабее, чем при непосредственном восприятии. Но такое объяснение также меня не удовлетворяет: оно означало бы, что, вспоминая о Солнце, я вижу что-то вроде Луны, свет которой, как это, должно быть, помнит В. В., почти в 200 000 раз слабее солнечного.² Однако видеть в действительности Луну или вспоминать о Солнце — совершенно различные вещи. Мы можем сказать, что представления, воспроизведенные памятью, подобны возникшим в настоящий момент, но это справедливо только в отношении души. Что касается тела, то представление, порожденное непосредственным восприятием, сопровождается определенным возбуждением в головном мозгу, которое не может иметь места при процессе воспоминания. Поэтому и говорят, что представление, которое возникает сейчас, или, иными словами, то, которое вызвано объектом, действующим на мои органы чувств, является ощущением; но нельзя сказать, что представление, возникшее в памяти, есть ощущение. Воспоминание и ощущение — это два совершенно различных явления.

Итак, когда душа сравнивает два разных запаха, причем представление об одном вызвано реальным присутствием объекта, действующего на обо-

ныние, а представление о другом относится к прошлому и теперь возникло в памяти, то на самом деле в душе одновременно сосуществуют два представления: одно — относящееся к настоящему, другое — пришедшее на память. Решая, какой из этих запахов ей более или же менее приятен или неприятен, душа проявляет совершенно особое свойство, отличное от простой способности созерцать процессы, происходящие в ее обиталище, т. е. в мозолистом теле.

Душа, однако, выполняет еще и другие функции, например, в случае последовательного восприятия нескольких запахов. В то время как она ощущает один из них, она вспоминает о предшествующих, и тем самым у нее создается понятие о прошлом, о настоящем и даже о будущем в том случае, если она слышит упоминание о новых ощущениях, подобных тем, которые она только что испытала. Она также извлекает из этого понятие последовательности, так как она получает некие впечатления, следующие друг за другом, и отсюда проистекает идея *длительности и времени*. Отмечая разнообразие ощущений, следующих друг за другом, она начинает считать: *один, два, три* и т. д., но этот счет не идет далеко ввиду отсутствия знаков или названий для обозначения чисел. Ибо я имею здесь в виду человека, только начинающего жить и еще не испытывавшего других ощущений, кроме названных мною. Ему еще очень далеко до того, чтобы овладеть речью, и он проявляет свои способности только на основе тех простых представлений, которые дает ему чувство обоняния. В. В. понятно, что этот человек уже обрел способность формировать представления о многообразии, о настоящем, прошлом и даже о будущем, а также о последовательности, длительности, времени и числах, по крайней мере самых простых.

Некоторые ученые полагают, что этот человек не может составить себе представление о протяженности времени, если он не испытает различных ощущений, следующих друг за другом. Но мне кажется, что некое ощущение, например запах розы, если оно сохраняется длительное время, будет воспринято им иначе, чем то же ощущение, длящееся недолго. Испытывая в течение длительного времени одно и то же ощущение, он в конце концов почувствует скуку, что неизбежно вызовет у него представление о длительности. Нужно согласиться с тем, что длительное ощущение воздействует на душу этого человека иначе, чем то же ощущение, которое длится одно мгновение; душа воспримет это различие, а следовательно, она может обрести представление о длительности даже при однообразии ощущений. Это и есть размышления души по поводу своих ощущений, и в них-то и выражается ее духовное начало, тогда как тело способно дать ей одни лишь простые ощущения. Но само восприятие душой этих ощущений уже является духовным актом, ибо тело не может приобретать представление и тем более предаваться размышлениям по поводу этих представлений.

Письмо 96

*Об уверенности в существовании того,
что мы воспринимаем органами чувств.
Об идеалистах, эгоистах и материалистах*

При всех ощущениях, испытываемых нами в результате воздействия какого-либо внешнего объекта на один из органов чувств, наша душа — и это крайне важно отметить — не только получает представление, соответствующее воздействиям, оказываемым на наши нервы, но и заключает о реальном существовании вне нас объекта, вызвавшего это представление.¹ Каким бы естественным это ни казалось, однако при более внимательном рассмотрении процессы, происходящие тогда в головном мозгу, не могут не вызвать нашего удивления. Один только пример позволит внести в этот вопрос полную ясность.

Предположим, что В. В. смотрит среди ночи на полную Луну, и лучи, проникающие в ее глаза, воспроизводят на сетчатке изображение, сходное с Луной: это объясняется тем, что мельчайшим частицам сетчатки сообщается посредством лучей колебательное движение, подобное колебанию лунных лучей. В. В. должно быть понятно, что, поскольку сетчатка является тончайшей нервной тканью, отходящие от нее нервы испытывают некое возбуждение, которое передается затем в то место в глубине головного мозга, где берут свое начало нервы, к мозолистому телу — обиталищу души. Там также возникает возбуждение, являющееся истинным объектом созерцания души; из него она черпает познание, иными словами, представление о Луне. Следовательно, представление о Луне есть не что иное, как созерцание слабого возбуждения, возникшего там, где все нервы берут свое начало. Деятельность души настолько связана с этим местом, где оканчиваются нервы, что она не может ничего знать об изображениях на глазном дне, и тем более о Луне, лучи которой создали эти изображения. Однако душа не довольствуется простым созерцанием возбуждения в головном мозгу, непосредственно вызвавшего у нее представление о Луне; к этому присоединяется суждение относительно реального существования вне нас объекта, называемого Луной. Это суждение сводится к следующему.*

В моем головном мозгу возникает некое возбуждение, или изменение; причина его мне совершенно неизвестна, поскольку я ничего не знаю о тех изображениях на сетчатке, которые являются его непосредственным источником. Тем не менее я не колеблясь решаю, что вне меня находится некое тело, а именно Луна, которая и вызвала у меня это ощущение. Что из этого следует? Не представляется ли более вероятным, что это возбуждение, или изменение, в моем головном мозгу вызвано какой-то внутренней причиной, например кро-

* См. письмо 82.

воображением, или, может быть, произошло совершенно случайно? По какому праву я могу, исходя из того, что возбуждение имело место, заключить, что Луна действительно существует? Если бы я решил, что на сетчатке моего глаза имеется некое изображение, то это было бы еще допустимо, поскольку оно на самом деле являлось непосредственной причиной изменения, возникшего в мозгу; однако и такое заключение было бы уже смелым. Но я иду еще дальше, и, исходя из наличия некоего возбуждения в моем мозгу, прихожу к выводу, что вне меня, и именно в небе, существует некое тело, являющееся первичным источником данного возбуждения, и что это тело — Луна.

Когда мы видим во сне Луну, в нашей душе образуется такое же представление, и вполне возможно, что возбуждение, подобное вышеописанному, возникает в головном мозгу, поскольку душе тогда кажется, что она действительно видит Луну. Очевидно, в этом случае мы ошибаемся; но как же мы можем быть уверены, что наше суждение наяву более обоснованно? Это крайне трудный вопрос, который многих философов завел в тупик.²

То, что я сказал выше о Луне, относится также ко всем телам, которые мы видим. Нет никаких оснований утверждать, что объекты вне нас существуют лишь по той причине, что наш головной мозг испытывает некое возбуждение, или воздействие. Даже о собственных членах и всем нашем теле нам известно лишь то, что познается посредством органов чувств и неких слабых воздействий, оказываемых на головной мозг. Но если они, эти воздействия, равно как и представления, которые из них черпает душа, никак не доказывают существования внешних объектов, то и существование нашего собственного тела становится также сомнительным.

Поэтому В. В. не удивится, когда узнает, что некоторые философы открыто отрицают существование всего материального мира; их учение трудно опровергнуть. В качестве веского доказательства они приводят сны, ибо во сне нам кажется, что мы видим множество предметов, не существующих в действительности. Обычно говорят, что это только иллюзия; но кто может поручиться, что и наяву мы не поддаемся той же иллюзии? По мнению этих философов, это даже не иллюзия: они признают, что душа испытывает некие воздействия и создает представления, но философы эти открыто отрицают, что из этого следует реальность существования тел, соответствующих этим представлениям; поэтому их существование почти невозможно доказать. Философов, придерживающихся этой точки зрения, называют *идеалистами*, поскольку они допускают только существование представлений о материальных предметах, и категорически отрицают реальное существование последних. Их можно также назвать *спиритуалистами*, ибо они утверждают, что в мире существуют только духовные субстанции.³

Так как мы можем познать другие духовные субстанции только посредством органов чувств или представлений, то некоторые философы приходят к полному отрицанию всех духовных субстанций, за исключением их собственной души. Их называют *эгоистами*, поскольку они полагают, что ничто не сущест-

вует, кроме их собственной души.⁴ Этим философам противостоят *материалисты*, которые отрицают существование духа, утверждая, что все сущее есть материя, а то, что мы называем душой, не что иное, как особая материя, тончайшим образом организованная и поэтому способная мыслить. Это мнение еще более абсурдно, чем два первых, и мы можем выставить против него неопровержимые аргументы, тогда как попытки опровергнуть идеалистов и эгоистов остаются тщетными.

24 января 1761 г.

Письмо 97

Опровержение мнения идеалистов

Мне хотелось бы представить В. В. все необходимые аргументы для опровержения идеалистов и «эгоистов» и доказать реальную связь между нашими ощущениями и объектами, вызвавшими эти ощущения; но должен признаться, что, чем больше я об этом думаю, тем сильнее чувствую свою неспособность это сделать.¹

Что касается «эгоистов», то было бы даже смешно вступать с ними в спор: ибо человек, который признает существование только собственного «я» и не хочет верить в реальность моего существования, опроверг бы свою собственную точку зрения, если бы стал прислушиваться к моим доводам, по его убеждению ни от кого не исходящим. Столь же трудно, однако, полемизировать с идеалистами; мне даже кажется, невозможно убедить в существовании материальных тел человека, который упорно это отрицает. Я сомневаюсь в искренности их убеждений; однако желательны были бы столь веские доказательства, чтобы убедиться самим в том, что всякий раз, когда наша душа испытывает ощущения, это определенно говорит о существовании неких тел, вызвавших эти ощущения; и если, например, в моей душе возникает представление о Луне, то я могу смело заключить, что Луна действительно существует. Однако связь, установленная Творцом между нашей душой и головным мозгом, — столь великая тайна, что мы не можем ее постичь; мы знаем только, что некоторые воздействия, воспринимаемые головным мозгом, где обитает душа, возбуждают в ней определенные ощущения или представления; но как именно осуществляется это влияние, нам совершенно неизвестно. Мы должны довольствоваться тем, что знаем о его существовании, которое убедительно подтверждается опытом; но мы не можем проверить способ, которым это осуществляется. Тот же опыт, убеждающий нас в наличии этого влияния, говорит нам, что всякое ощущение заставляет нас поверить в реальное существование вне души какого-то объекта, вызвавшего это ощущение; и то же ощущение позволяет нам определить различные свойства этого объекта.²

Итак, можно считать установленным фактом, что, исходя из какого-либо ощущения, душа заключает о существовании реального объекта, находящегося вне нас.³ Это свойство присуще нам с самого раннего детства и является настолько всеобщим для всех людей и даже для всех животных, что уж никак нельзя считать его предрассудком. Собака, которая при виде меня начинает лаять, безусловно убеждена в том, что я существую: ибо мое появление вызывает у нее соответствующее представление обо мне. Следовательно, эта собака — не идеалист. Даже самые жалкие насекомые действуют так, что другие тела подразумеваются вне их, и это их знание могло возникнуть у них только благодаря ощущениям, полученным их душой. Отсюда я заключаю, что в ощущениях таится нечто большее, чем то, что предполагают вышеупомянутые философы. Это не просто восприятие некоторых воздействий, оказываемых на головной мозг; ощущения не только являются для души источником представлений, но и действительно представляют душе объекты, существующие вне ее, хотя невозможно понять, как это делается. И в самом деле, какое может быть сходство между ярким представлением о Луне и тем слабым возбуждением, которое лунные лучи могут вызвать в головном мозгу через посредство нервов. Представление, хотя душа его и созерцает, не заключает в себе ничего материального; это действие души, являющейся духовной субстанцией. Поэтому не следует искать реального соответствия между воздействиями, сообщаемыми головному мозгу, и представлениями души. Нам довольно знать, что некое возбуждение, достигающее головного мозга, вызывает в душе определенные идеи или представления об объектах, находящихся вовне, и тем самым убеждает нас в реальности их существования. По этой причине, когда в моей душе появятся ощущения, что я вижу дерево или дом, то я без колебаний решаю, что вне меня действительно существует дерево или дом, причем я даже знаю их местоположение, величину и другие признаки. Нет такого человека или животного, который сомневался бы в этой истине. Если какой-нибудь крестьянин выразил бы сомнение по этому поводу, например, сказал бы, что он не верит в существование своего бальи,⁴ хотя тот стоит перед ним, то его приняли бы за сумасшедшего, и вполне справедливо. Но когда философ высказывает подобные мнения, он хочет вызвать восхищение своим умом и образованностью, в чем он и видит свое превосходство над людьми из народа. Поэтому мне кажется очевидным, что такие странные мнения высказываются только из тщеславия и желания выделиться из числа обычных людей. В. В. согласится с тем, что в этом отношении крестьяне проявляют больше здравого смысла, нежели ученые такого рода, которые извлекают из своих занятий только одни заблуждения разума.

Итак, примем за твердое правило, что всякое ощущение не только вызывает в душе идею, но и как бы показывает ей образ внешнего объекта, подтверждая тем самым реальность его существования. Я опасаюсь, однако, одного убедительного возражения, касающегося сновидений, а также бреда больных, когда душа испытывает множество ощущений от объектов, реально не существую-

щих. По этому поводу я хочу высказать следующее соображение: считать, что объекты, от которых душа получает ощущения, действительно существуют, для нас должно быть вполне естественно; между тем таким же образом мы судим и во сне, хотя в этом случае мы и ошибаемся. Но из этого не следует, что мы подобным же образом ошибаемся и наяву. Чтобы разрешить это затруднение, надобно лучше знать различие между сном и бодрствованием; возможно, ученые знают об этом меньше, чем кто-либо, что покажется весьма странным В. В.

27 января 1761 г.

Письмо 98

О способности чувствовать. О воспоминании, памяти и внимании. Об идеях простых и сложных

В. В. убедились в том, что объекты, действуя на органы чувств, вызывают в нашей душе ощущения, благодаря которым мы и судим о реальном существовании этих объектов. Хотя воздействия, порождающие ощущения, сосредоточены в головном мозгу, они дают душе своего рода образ, сходный с объектом, который и воспринимается душой; этот образ называют *чувственным представлением*, ибо его возбуждают чувства. Так, при виде собаки в душе возникает соответствующее представление, и посредством органов чувств душа обретает знание об этой собаке и вообще обо всех внешних объектах; так создаются чувственные представления, составляющие основу всех наших познаний.

Эта способность души познавать объекты внешнего мира называется *способностью ощущать* и зависит, без сомнения, от поразительной связи, которую Творец установил между душой и головным мозгом. Но душа обладает еще и другой способностью, а именно, способностью вспоминать представления, полученные ею прежде, посредством органов чувств: эта способность души называется *воспоминанием*,¹ или *воображением*. Так, например, если бы В. В. увидели когда-нибудь слона, то могли бы восстановить в памяти представление о нем даже в отсутствие слона; однако имеется большое различие между непосредственно получаемыми представлениями и представлениями, возникающими в памяти; первые производят более сильное и живое впечатление, чем вторые. Тем не менее способность запоминать представления является основным источником всех наших знаний. Если бы мы утрачивали представления об объектах, как только прекратилось их воздействие на наши органы чувств, то никакое размышление или сравнение не могло бы иметь место; и наши познания ограничивались бы исключительно предметами и явлениями, ощу-

щаемыми в настоящий момент, тогда как предшествующие представления исчезли бы, как если бы они никогда у нас и не возникали.

Итак, способность вспоминать прошлые представления — чрезвычайно важное свойство, присущее всем разумным существам и даже животным. В. В. понятно, что этим свойством является память. Однако из этого не следует, что мы можем всегда восстановить в памяти все полученные прежде представления: как часто мы тщетно пытаемся вспомнить какие-то представления, некогда возникшие у нас! Иногда они забываются полностью, но обычно забвение бывает частичным. Если бы, например, случилось так, что В. В. забыли доказательство теоремы Пифагора,² то вполне возможно, что все Ваши старания его вспомнить оказались бы тщетными; однако это забвение не будет полным: как только я буду иметь честь сделать для В. В. чертеж и указать способ доказательства, В. В. немедленно все вспомнит, и это вторичное доказательство произведет совершенно другое впечатление, чем первое. Отсюда ясно, что возможность вспомнить те или иные представления не всегда зависит от нашей воли, даже если они не стерлись полностью; однако какое-либо незначительное обстоятельство зачастую способно восстановить их в нашей памяти.

Итак, необходимо строго отличать чувственные представления от возникших в памяти. Источником первых являются наши чувства, тогда как вторые воспроизводятся (формируются) нами самими по образу и подобию чувственных впечатлений по мере того, как мы их вспоминаем.

Учение о представлениях чрезвычайно важно для исследования истинного источника всех наших знаний. Прежде всего следует различать представления простые и сложные. Они будут простыми, если душа не находит в объекте никакого разнообразия и не различает в нем отдельные части. Таково, например, представление о запахе, или об одноцветном пятне, или же о звезде, которая кажется нам просто светящейся точкой. Они будут сложными, если душа способна различить в объекте отдельные особенности. Например, смотря внимательно на Луну, находят там большое число темных пятен, окруженных более светлыми контурами. На это обращают внимание в особенности когда смотрят в телескоп, который, сверх того, позволяет нам обнаружить еще целый ряд подробностей.

Сколько различных вещей можно заметить, рассматривая великолепный дворец или красивый сад? Читая мое письмо, В. В. обнаружит в нем различные начертания букв и легко отличит их одно от другого. Следовательно, это представление будет сложным, так как заключает в себе ряд простых представлений. Но не только все письмо в целом является сложным представлением из-за множества содержащихся в нем слов; каждое слово есть также сложное представление, ибо оно заключает в себе несколько букв, а каждая буква является сложным представлением из-за особенностей начертания, отличающих ее от всех прочих букв. Однако отдельные элементы или точки, составляющие каждую букву, можно рассматривать как простые представления, поскольку между ними нет никаких различий. Но если рассматривать их более внимательно,

то можно и в этих элементах обнаружить некоторые различия, в особенности если разглядывать их под микроскопом.

Таким образом, имеется большое различие в самом способе рассматривать объекты. Тот, кто смотрит на них поверхностно, или мимоходом, не находит в них большого разнообразия; между тем другой, рассматривающий их внимательно, выделяет целый ряд различных особенностей. Дикарь, взглянув на это письмо, примет его за замаранную бумагу и различит в нем только черное и белое, между тем как внимательный читатель выделит в нем начертание каждой буквы.

Итак, перед нами еще одна способность души, называемая *вниманием*, благодаря которому душа получает простые представления о самых различных свойствах, присущих объекту. Внимание требует навыка, приобретаемого длительным упражнением. Для того чтобы различать отдельные части объекта, крестьянин и архитектор, проходя мимо дворца, испытывают одни и те же ощущения от лучей, проникающих в их глаза; но архитектор различит в этом здании тысячу деталей, которые крестьянин вовсе не заметит. А причина этого различия коренится лишь во внимании.

31 января 1761 г.

Письмо 99

О делении идей на неясные и ясные, смутные и отчетливые. О рассеянности

При поверхностном рассмотрении того, что сообщают нам наши органы чувств, представление, которое мы получаем, весьма несовершенно, и в этом случае говорят о смутном представлении. Но, чем больше внимания мы уделяем объекту, стремясь различить в нем составные части и все присущие ему характерные признаки, тем полнее и отчетливее становится наше представление. Чтобы получить совершенное или ясное представление об объекте, недостаточно, чтобы воздействия, оказываемые на органы чувств, создали в головном мозгу надлежащий образ этого объекта. Необходимо, кроме того, чтобы душа сосредоточила на нем свое внимание, что уже является актом, присущим душе и независимым от тела. Нужно также, чтобы образ, возникший в головном мозгу, был отчетливым и включал сведения о различных частях объекта и его характерных признаках. Это возможно, только если объект вполне доступен для восприятия органами чувств. Например, если я смотрю на какой-нибудь текст с расстояния в десять футов, то не смогу его прочесть, как бы я ни напрягал внимание. Это объясняется тем, что из-за дальности буквы недостаточно четко воспроизводятся на глазном дне, а следовательно, также и в головном мозгу. Но если только приблизить текст, я смогу его прочесть, поскольку все буквы тогда будут отчетливо воспроизведены на сетчатке.

В. В. известно, что, для того, чтобы сведения, получаемые нами от органов чувств, были более полными, пользуются некоторыми приборами; к ним относятся микроскопы, телескопы и подзорные трубы, которые служат для усиления нашего зрения. Однако, даже пользуясь всеми этими вспомогательными средствами, не удастся получить отчетливого представления об объекте, если не уделить ему должного внимания; в этом случае представление будет неясным, и это почти то же самое, как если бы мы совсем не видели объекта. Я уже отмечал выше, что ощущения небезразличны для души, они могут быть ей приятны или неприятны; приятное привлекает чаще всего наше внимание, если только душа уже не отвлечена разными другими ощущениями, на которых сосредоточено ее внимание; такое состояние души называется *рассеянностью*.

Упражнение также значительно способствует усилению внимания. Нет более подходящего упражнения для детей, чем обучение чтению; тогда они вынуждены сосредоточивать свое внимание поочередно на каждой букве и таким образом получать четкое представление о ее начертании. Понятно, что такое упражнение кажется сначала очень трудным, но вскоре дети настолько к нему привыкают, что в конце концов приучаются читать с быстротой, поистине невероятной. Читая написанное от руки, следует хорошо разбирать почерк; отсюда ясно, что благодаря упражнению внимание может достичь высокой степени. С какой быстротой искусный музыкант может исполнить по нотам произведение, которое он никогда раньше не видел? Без сомнения, его внимание переносится поочередно с одной ноты на другую, и при этом он замечает высоту и длительность каждой из них. Внимание его к тому же не ограничено только нотами, оно сосредоточено также на движении пальцев, каждый из которых подчиняется определенному велению души. Кроме того, музыкант одновременно следит за тем, как его партнеры в оркестре исполняют то же произведение. Удивительно, каких высот может достичь духовная деятельность человека благодаря упорству и упражнению. Если показать те же ноты кому-нибудь, кто только начинает играть на инструменте, сколько ему понадобится времени, чтобы запомнить значение каждой ноты и составить о ней точное представление, которое у искусного музыканта возникает почти с первого взгляда? Подобное искусство проявляется также во всех других областях, где человек может добиться значительного превосходства над другими. Есть люди, которым достаточно бросить один взгляд на человека, проходящего мимо, чтобы получить самое четкое представление не только о чертах его лица, но и о его одежде, вплоть до самых незначительных подробностей, тогда как другие не способны заметить даже то, что прямо бросается в глаза.

В этом отношении наблюдается огромное различие между людьми. Одни быстро и четко улавливают все отличительные признаки объекта, другие представляют себе тот же объект очень смутно. Это различие зависит не только от проницательности ума, но и от характера объектов. Так, музыкант легко схватывает все ноты музыкального произведения и получает о них ясное представление. Но если ему показать китайские письма, то образ знаков, которые

там содержатся, будет самым смутным; китаец же поймет истинное значение каждого иероглифа, но в свою очередь может не разобраться в музыкальных нотах. Равным образом ботаник обнаружит в растении, которое он никогда раньше не видел, тысячу признаков, ускользающих от внимания другого человека. Архитектор, бросив беглый взгляд на здание, найдет в нем множество особенностей, которые другой человек совсем не заметит, хотя и уделит этому гораздо больше внимания.

Важным преимуществом является способность составлять ясные представления обо всех объектах, действующих на наши чувства, иными словами, замечать все части, из которых они состоят, а также все их отличительные и характерные признаки. Отсюда В. В. легко поймет разделение представлений на смутные и ясные, расплывчатые и четкие. Чем отчетливее наши представления, тем больше они способствуют расширению границ наших знаний.

3 февраля 1761 г.

Письмо 100

Об абстракции и понятиях.

О понятиях общих и индивидуальных.

О видах и родах

Наши органы чувств доставляют нам сведения только о тех объектах, которые реально существуют вне нас,¹ и все чувственные представления относятся к этим объектам. Душа же на основе этих чувственных представлений формирует множество других, которые ведут свое начало от первых, но уже не соответствуют реально существующим предметам и явлениям. Например, когда я вижу полную Луну и сосредоточиваю внимание только на ее очертаниях, у меня возникает представление об округлости, но я не могу сказать, что округлость существует сама по себе. Луна действительно круглая, но круглая форма не существует отдельно от Луны.² То же самое можно сказать и о других фигурах: если, например, я вижу треугольный или квадратный стол, у меня может возникнуть представление о треугольнике или о квадрате, хотя подобные фигуры не существуют сами по себе, отдельно от конкретного объекта, имеющего такую форму. Таков же источник и наших представлений о числах: при виде двух или трех человек или каких-либо других объектов душа получает представление о числах два и три, уже не связанное с данными объектами. Составив понятие о числе три, душа ведет счет дальше и составляет себе представления о больших числах: о четырех, пяти, десяти, ста, тысяче и т. д., хотя она никогда не видела точно такого числа предметов, собранных вместе.

Если вернуться к фигурам, то В. В. может вполне вообразить себе многоугольник, имеющий, например, 1761 сторону, хотя В. В. никогда не прихо-

дилось видеть реального предмета, имеющего такую фигуру, и возможно, что такой объект вообще никогда не существовал.

Итак, один-единственный случай, когда мы увидели два или три объекта, может дать повод душе сформировать представление о других числах, как бы они ни были велики. Здесь проявляется еще одна способность души, называемая *абстрагированием*: душа в этом случае сосредоточивает свое внимание только на количестве или на каком-либо качестве объекта, выделяет этот признак и рассматривает его так, как если бы он не был больше связан с объектом. Например, если я прикасаюсь к нагретому камню и обращаю внимание только на тепло, у меня возникает представление о теплоте, уже никак не связанное с данным камнем. Это представление о теплоте формируется путем абстрагирования, поскольку оно отделено от камня и могло бы также возникнуть в душе при прикосновении к теплomu куску дерева или же при погружении руки в нагретую воду. Таким образом, посредством абстракции душа приобретает множество других представлений о количестве и о свойствах предметов, отделяя их от самих предметов. Так, например, когда я вижу красную одежду и обращаю внимание только на цвет, то у меня возникает представление о красном цвете, не связанное с одеждой. Понятно, что красный цветок или же всякий другой предмет красного цвета мог бы вызвать у меня то же представление. Эти представления, приобретенные посредством абстрагирования, называются *понятиями*, чтобы отличить их от чувственных представлений, соответствующих реально существующим объектам. Утверждают, что способность абстрагировать — исключительное преимущество людей, наделенных разумом, и что животные совершенно ее лишены. Животное, например, испытывает такое же ощущение от горячей воды, как и мы, но оно не способно отделить представление о теплоте от представления о самой воде: ему известно лишь, что вода теплая, но у него не возникает, как у нас, отвлеченного представления о теплоте. Говорят, что эти понятия являются общими представлениями, которые распространяются одновременно на несколько объектов: так, теплота может быть присуща камню, дереву, воде и любому другому предмету. Но наше представление о теплоте не соотнесено ни с каким объектом, ибо если бы я связал представление о теплоте с определенным камнем, внушившим мне первоначально это представление, то я уже не смог бы сказать, что дерево или другие предметы тоже теплые.

Отсюда ясно, что понятия или общие представления не связаны с каким-либо определенным объектом подобно чувственным представлениям. И эти понятия, поскольку они отличают людей от животных,³ возводят мыслительные способности человека на такую высокую ступень, которой животные никогда не смогут достигнуть. Имеется и другая категория понятий, также образуемых путем абстракции; они предоставляют душе важнейшие темы для развития ее мыслительных способностей: таковыми являются представления о *роде* и *виде*. Когда я вижу грушевое дерево, вишню, яблоню, дуб, ель и т. д., то все они вызывают у меня различные представления. Но вместе с тем я замечаю в них

некоторые общие признаки, например ствол, ветки и корни; я останавливаю свое внимание только на тех признаках, которые являются общими для различных представлений, и называю деревом тот объект, которому эти признаки присущи. Составленное мною таким образом представление о дереве является общим понятием и включает в себя чувственные представления о грушевом дереве, о яблоне и вообще о любом дереве, реально существующем. Однако дерева, соответствующего этому общему понятию, вообще не существует; оно не является грушевым деревом, ибо в таком случае яблони не будут включены в это понятие, и по той же причине оно не будет ни вишней, ни сливовым деревом, ни дубом и т. д. — одним словом, оно существует лишь в моей душе, является только идеей, но идеей, которая воплощается в бесконечном числе объектов. Поэтому когда я говорю «вишневое дерево», это уже общее понятие, которое подразумевает все существующие на Земле вишневые деревья: это понятие не ограничивается только вишневым деревом, растущим в моем саду, ибо в этом случае всякое другое вишневое дерево было бы из него исключено. По отношению к таким общим понятиям каждый реально существующий объект, который в него входит, является *индивидом*, а общее понятие, например о вишневом дереве, называют *видом* или *родом*. Эти два слова означают приблизительно одно и то же, но род — более общее понятие и включает в себя несколько видов. Так, понятие о дереве может считаться родом, в него входят не только понятия о грушевых деревьях, яблонях, дубах, елях, но также представление или понятие о вишневых деревьях со сладкими или с кислыми плодами. Грушевые, яблоневые деревья, дубы, ели и т. д. являются видами, и каждый из них содержит множество реально существующих индивидов. Это формирование общих понятий осуществляется, следовательно, также посредством абстрагирования. Именно в этом главным образом проявляется активная деятельность души, из которой мы черпаем все наши знания. Если бы не эти общие понятия, мы ничем не отличались бы от животных.

7 февраля 1761 г.

Письмо 101

*О языках, их сущности, пользе и необходимости
как для взаимного обмена мыслями,
так и для развития наших собственных знаний*

Как бы способен ни был человек к созданию абстракций и приобретению общих понятий, никакое продвижение вперед невозможно было бы без языка в двух проявлениях — языка, на котором он говорит, и языка, на котором он пишет. Устный и письменный, он содержит множество слов, являющихся не чем иным, как знаками, соответствующими нашим представлениям, установ-

ленными обычаем или молчаливым соглашением многих людей, живущих вместе. Поэтому и кажется, что язык служит людям только для взаимного обмена мыслями и что человек, живущий в уединении, мог бы вполне без него обойтись. Однако В. В. вскоре убедится в том, что язык в той же мере необходим людям для развития и совершенствования собственных мыслей, как и для общения с другими людьми.

Чтобы доказать это, я хочу прежде всего отметить, что почти не содержится в языках слов, значение которых было бы связано с каким-нибудь единичным объектом. Если бы каждое вишневое дерево из числа тех, что растут во всей стране, имело свое, собственное наименование, так же как и каждое грушевое дерево, и вообще всякое отдельное дерево, то в результате каким чудовищным стал бы наш язык! Если бы я должен был употребить особое слово для обозначения каждого листа бумаги, находящегося в моем письменном столе, или же захотел бы из прихоти дать каждому из них отдельное наименование, то это принесло бы столь же мало пользы мне, как и другим.

Было бы ошибочно при объяснении происхождения языков утверждать, что люди изначально наделили все отдельные объекты некими именами для их обозначения, ибо слова в языке выражают общие понятия, и редко в них можно встретить слово, которое относилось бы только к одному индивиду. Имя *Александр Великий* принадлежит только одному человеку, но это слово — составное. На свете есть тысячи Александров, а эпитет *великий* применим к множеству предметов и явлений. Так, всем людям дают для различения имена (которые отличают их от других), хотя очень часто эти имена принадлежат многим. Но если бы я захотел наделять каждый предмет в моей комнате особым именем и если бы каждой мухе было дано отдельное собственное имя, то это ни к чему бы не привело и совершенно не соответствовало бы назначению языка. Существенная особенность языка, скорее, в том, что он содержит слова для обозначения общих понятий: так, слово *дерево* применимо к бесчисленному ряду индивидов. Эти слова служат не только чтобы вызывать у других людей, говорящих на том же языке, то самое представление, которое я связываю с этими словами: они также помогают мне самому воспроизвести мысленно это представление. Без слова *дерево*, выражающего общее понятие о дереве, я должен был бы представить себе одновременно и вишневое дерево, грушевое, яблоню, ель и т. д. и определить затем путем абстракции то, что имеется между ними общего. Это чрезмерно утомило бы ум и привело бы к самой большой путанице. Но если только я однажды решился выразить посредством слова *дерево* общее понятие, полученное путем абстракции, то это слово будет всегда порождать в моей душе это понятие, и уж мне не нужно будет вспоминать, откуда оно ведет свое начало. Равным образом для большинства людей само слово *дерево* является объектом деятельности души, хотя при этом в ней и не возникает представления о каком-либо реальном дереве. Также и слово *человек* есть знак, обозначающий общее понятие о том, что присуще всем людям, и было бы очень трудно сделать перечень всего, что

в этом понятии содержится. Например, мы захотели бы сказать, что это живое существо на двух ногах. Но тогда под этим словом можно было бы подразумевать и петуха. Или сказали бы, что это — двуногое без перьев, согласно определению великого Платона.¹ Тогда понадобилось бы только лишить петуха его перьев, и это был бы платоновский человек.

Я не знаю, насколько более правы те, кто утверждает, что человек — это живое существо, одаренное разумом. Однако как часто мы принимаем за людей существа, в разумности которых не убеждены! Когда я вижу войско, то не сомневаюсь, что все солдаты — люди, хотя я не имею ни малейших доказательств их разумности. А если я захочу перечислить все члены, необходимые, чтобы составить человека? Ведь нашлось бы всегда несколько человек, лишенных одного, а может быть, и нескольких из этих членов, или же нашлось бы какое-нибудь животное, имеющее те же члены. Итак, рассматривая происхождение общего понятия *человек*, почти невозможно определить, к чему сводится это понятие. Однако нет никого, кто сомневался бы в значении этого слова. Причина здесь в том, что каждый, кто хочет вызвать в своей душе это понятие, думает только о слове *человек* как если бы он видел его написанным на бумаге или произнесенным на том языке, на котором он сам говорит. Отсюда ясно, что в большинстве случаев объектами нашего мышления являются не столько сами предметы, сколько слова, которыми эти предметы обозначены в языке: и это в значительной степени помогает нашему умению мыслить. В самом деле, какое представление можно связать с такими словами, как *добродетель*, *свобода*, *доброта* и т. д.? Это, конечно же, не образы, воспринимаемые чувствами; однако наша душа, которая однажды сформировала отвлеченные понятия, соответствующие этим словам, в дальнейшем мысленно подставляет эти слова вместо обозначенных ими объектов.

В. В. может легко понять, сколько надо было составить отвлеченных представлений, чтобы прийти к понятию *добродетель*! Нужно было рассмотреть и оценить поступки людей и сопоставить их с обязательствами, которые на них были возложены. Поэтому и называют добродетелью способность человека совершать поступки согласно своему долгу. Но когда слышишь, как в разговоре мимоходом упоминают слово *добродетель*, разве связывают всегда это слово со столь сложным понятием? Если же мы слышим слова *и*, *также*, то какое представление могут вызвать в нашем уме эти частицы? Понятно, что эти слова являются своего рода связками. Но как бы мы ни старались описать эти связующие частицы, нам пришлось бы прибегнуть к целому ряду других слов, значение которых было бы трудно объяснить; и если бы я пожелал объяснить значение частицы *и*, я должен был бы неоднократно употребить эту самую частицу.

Предоставляю В. В. судить о том, насколько язык поможет нам управлять собственными мыслями. Без языка мы сами были бы почти не в состоянии мыслить.

Письмо 102

О степени совершенства того или иного языка.

*О суждениях и о свойстве предложений,
утвердительных или отрицательных,
общих или частных*

В. В. уже смогли убедиться в том, насколько язык необходим людям, и не только чтобы обмениваться с другими своими мыслями и чувствами, но также для развития собственного мышления и расширения своих знаний. Если бы Адам оказался совсем один в раю, то без помощи языка пребывал бы в самом глубоком невежестве. Язык был ему необходим не столько для обозначения некими знаками отдельных предметов, оказавших воздействие на его органы чувств, сколько для обозначения общих понятий, полученных путем абстрагирования, так, чтобы эти знаки заменили в его уме сами понятия.

Итак, эти знаки, или слова, выражают общие понятия, из которых каждое применимо к бесчисленному множеству объектов: так, например, представление о теплом и о теплоте может относиться ко всем индивидуальным объектам, которые будут теплыми; под общим понятием дерева подразумеваются все индивиды, которые находятся в саду или в лесу, будь то вишневые деревья, грушевые деревья или дубы, ели и т. д.

Отсюда В. В. станет понятно, почему один язык может быть более совершенным, чем другой: язык всегда будет более совершенным, если он способен выразить наибольшее число общих понятий, образованных посредством абстракции. Следует судить о степени совершенства языка, исходя из этих общих понятий. Когда-то в русском языке не было слова, обозначающего то, что мы называем по-французски *justice* («справедливость»).¹ Это был, без сомнения, большой недостаток, ибо понятие справедливости необычайно важно для целого ряда суждений и умозаключений, и почти невозможно размышлять о самом явлении, не имея слова, которое его обозначает. Поэтому в дальнейшем восполнили этот пробел, введя в русский язык соответствующее слово — справедливость.

Эти общие понятия, образуемые посредством абстрагирования, являются основой всех наших суждений и умозаключений. *Суждение* есть не что иное, как утверждение или отрицание применимости данного понятия. Суждение, выраженное словами, есть то, что называют *предложением*. Так, например, в предложение «Все люди — смертны» входят два понятия: первое о человеке вообще и второе — о смертности, включающее в себя все, что смертно. Посредством суждения высказывается и подтверждается то, что «понятие смертности применимо ко всем людям». Поскольку это суждение выражено словами, оно является предложением, причем предложением *утвердительным*, ибо в

нем нечто утверждается. Если бы оно отрицало, это было бы *отрицательное* предложение, как например: «Ни один человек не справедлив». Оба предложения, которые служат мне примерами, будут также *общими*, ибо первое утверждает, что все люди смертные, а другое отрицает, что кто-либо из людей справедлив.

Имеются также *частные предложения*, как *утвердительные*, так и *отрицательные*, например: «Некоторые люди — ученые» и «Некоторые люди неблагоразумны». Здесь то, что утверждается и отрицается, относится не ко всем людям, а только к некоторым из них. Отсюда выводится четыре рода предложений: первый род составляют предложения *утвердительные и общие*, имеющие следующую общую форму:

Всякое А есть В.

Второй род содержит предложения *отрицательные и общие*; их общая форма будет:

Ни одно А не есть В.

К третьему роду относятся предложения *утвердительные, но частные*, следующего типа:

Некоторое А есть В.

И наконец, четвертый род составляют предложения *отрицательные и частные*, как-то:

Некоторое А не есть В.

Все эти предложения включают в себя два понятия А и В, которые называются *терминами предложения*: первое понятие, относительно которого нечто утверждается или отрицается, называется подлежащим, а второе понятие, где говорится о чем-то, присущем или не присущем первому, называется сказуемым (предикатом). Так, в предложении: «Все люди — смертны» — слово «человек» или «люди» — подлежащее, а слово «смертны» — сказуемое. Эти слова весьма употребительны в логике, науке, которая учит нас правильно мыслить.

Чтобы зрительно представить особенности этих четырех родов предложений, можно изобразить их в виде фигур.² Этот чудесный способ позволяет наглядно доказать правильность умозаключения. Поскольку в общее понятие входит бесконечное число индивидуальных объектов, можно рассматривать его как некое пространство или круг, внутри которого находятся все эти индивиды. Так, для понятия «человек» изображается круг



причем предполагают, что он включает всех людей. Для понятия «смертный» также описываем круг



внутри которого находится все, что смертно. Далее, когда я говорю «Все люди — смертны», это означает, что первая фигура заключена во второй.

I. Итак, изображение утвердительного общего предложения будет следующим:



где круг А, изображающий *подлежащее* предложения, помещается весь целиком внутри круга В, изображающего *сказуемое*.

II. Для общих отрицательных предложений оба круга, из которых А по-прежнему изображает подлежащее, а В — сказуемое, будут отделены друг от друга:



поскольку говорят: «Ни одно А не есть В», или же, что ничего из того, что содержится в понятии А, не входит в понятие В.

III. Для частных утвердительных предложений, как-то: «Некое А есть В», некоторая часть круга А помещается внутри круга В:



Откуда ясно видно, что нечто, заключающееся в понятии А, входит также в понятие В.

IV. Для частных отрицательных предложений типа «Некое А не есть В» некоторая часть круга А должна находиться вне круга В:



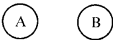
что сходно с предыдущей фигурой; однако здесь следует обратить особое внимание на то, что есть нечто в понятии А, что не входит в понятие В, или же находится вне этого понятия.

Письмо 103

*О силлогизмах и об их различных формах,
если первое предложение — общее*

Эти круглые фигуры, или, вернее, пространства (поскольку не имеет значения, какую форму мы им придали) способны облегчить ход наших рассуждений, а также позволяют нам раскрыть все тайны, которыми похвывается логика; однако объяснение этих тайн в логике сопряжено с большими трудностями, тогда как с помощью этих символов все сразу бросается в глаза.¹

Итак, чтобы представить графически общие понятия, применяют фигуры произвольной формы: подлежащее предложения изображают кругом, содержащим А, а сказуемое — другим кругом, содержащим В. От характера самого предложения зависит: помещается ли круг А весь целиком, или частично внутри круга В, или же по меньшей мере некоторая часть его расположена вне круга В, или же, наконец, находится ли круг А весь целиком вне круга В. Я хочу еще раз наглядно представить В. В. эти фигуры или схемы для четырех видов предложений.

Общее утвердительное  Всякое А есть В	Общее отрицательное  Ни одно А не есть В
Частное утвердительное  Некоторое А есть В	Частное отрицательное  Некоторое А не есть В

Что касается двух последних случаев, где изображены частные предложения, следует заметить, что они предполагают наличие некоего сомнения, ибо неизвестно, насколько велика часть А, содержащаяся или не содержащаяся в В. Может даже случиться так, что понятие А будет включать в себя понятие В все целиком, как изображено на следующем рисунке:



Здесь ясно показано, что одна часть круга А находится в круге В, а другая часть А — вне В. Так, например, если А — это понятие дерева вообще, а В — понятие грушевого дерева вообще, содержащееся, без сомнения, все целиком в первом понятии, то можно будет составить из этой фигуры следующие предложения:

1. Все грушевые деревья — деревья.
2. Некоторые деревья — грушевые.
3. Некоторые деревья не являются грушевыми.

Равным образом, когда из двух кругов один находится весь целиком вне другого, как-то:



то я также могу сказать: «Ни одно А не есть В», или: «Ни одно В не есть А», как если бы я сказал: «Ни один человек не есть дерево» и «Ни одно дерево не есть человек». Третий случай, когда для обоих понятий одна часть является общей, как-то:



Можно сказать:

- I. Некоторые А есть В.
- II. Некоторое В есть А.
- III. Некоторое А не есть В.
- IV. Некоторое В не есть А.

Этого довольно, чтобы показать В. В., как все предложения могут быть изображены с помощью фигур. Но наибольшую пользу это приносит для умозаключений, которые, если они выражены словами, называются *силлогизмами*; здесь речь идет о том, чтобы вывести правильное заключение из нескольких заданных предложений. Применяв указанный выше способ, мы найдем правильные формы всех силлогизмов. Начнем с общего утвердительного предложения: «Всякое А есть В»



где круг А помещается весь целиком в круге В. Посмотрим, как третье понятие С может быть соотнесено с одним и другим из понятий А или В, для того чтобы вывести из них заключения. В следующих случаях все представляется очевидным.

I. Если понятие С содержится все целиком в понятии А, оно также будет находиться все целиком в круге В:



откуда выводится следующая форма силлогизма:

Всякое А есть В.

При том, что всякое С есть А.

Следовательно:

Всякое С есть В.

Что и является заключением.

Допустим, например, что понятие А включает в себя все деревья, понятие В — все, что имеет корни, а понятие С — все вишневые деревья. Тогда силлогизм будет иметь следующий вид:

Всякое дерево имеет корни.

Всякая вишня — дерево.

Следовательно:

Всякая вишня имеет корни.

II. Если одна часть понятия С содержится в А, то та же часть будет находиться и в круге В, поскольку понятие А входит все целиком в понятие В:



Откуда выводится второй вид силлогизма:

Всякое А есть В.

При том, что некоторое С есть А.

Следовательно:

Некоторое С есть В.

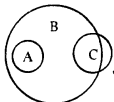
Если бы понятие С находилось все целиком вне понятия А, то нельзя было бы сделать никакого заключения о его отношении к понятию В. Может случиться так, что понятие С будет все целиком вне В:



или все целиком внутри В:



или частично в В:



так что из последнего силлогизма нельзя вывести никакого заключения.

III. Если понятие С будет все целиком вне понятия В, то оно будет также находиться вне понятия А, как это показывает следующая схема:



откуда выводится следующая форма силлогизма:

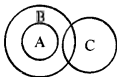
Всякое А есть В.

При том, что ни одно С не есть В, или ни одно В не есть С.

Следовательно:

Ни одно С не есть А.

IV. Если часть понятия С находится вне понятия В, то эта же часть, очевидно, будет вне понятия А, поскольку последнее все целиком содержится в понятии В:



откуда выводится следующий силлогизм:

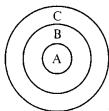
Всякое А есть В.

При том, что некоторое С не есть В.

Следовательно:

Некоторое С не есть А.

V. Если понятие С включает в себя все понятие В, то одна часть понятия С, очевидно, окажется в А.



из чего следует силлогизм:

Всякое А есть В.

При том, что всякое В есть С.

Следовательно:

Некоторое С есть А.

Никакая другая форма невозможна в том случае, если первое предложение будет утвердительным и общим.

Предположим теперь, что первое предложение — отрицательное и общее:

Ни одно А не есть В,

что и изображается следующей схемой:



где понятие А находится все целиком вне понятия В; выводы можно сделать на основании следующих случаев:

I. Если понятие С заключено все целиком в понятии В, то оно также будет находиться все целиком вне понятия А.



Отсюда выводим следующий силлогизм:

Ни одно А не есть В.

Всякое С есть В.

Следовательно:

Ни одно С не есть А.

II. Если понятие С все целиком содержится в понятии А, оно также будет все целиком вне понятия В.



что дает нам следующий силлогизм:

Ни одно А не есть В.

Всякое С есть А.

Следовательно:

Ни одно С не есть В.

III. Если некоторая часть понятия С содержится в понятии А, эта часть, без сомнения, окажется вне понятия В, а именно:



или же так:



откуда возникает такой силлогизм:

Ни одно А не есть В.

Некоторое С есть А, или некоторое А есть С.

Следовательно:

Некоторое С не есть В.

IV. Равным образом, если часть понятия С содержится в понятии В, то эта часть, безусловно, будет находиться вне понятия А:



или же так:



откуда получаем следующий силлогизм:

Ни одно А не есть В.

Некоторое С есть В, или некоторое В есть С.

Следовательно:

Некоторое С не есть А.

Что касается остальных схем, применяемых, когда первое предложение будет частным утвердительным или отрицательным, то я приведу их в моем следующем письме.

17 февраля 1761 г.

Письмо 104

*О различных формах силлогизмов,
если первое предложение — частное*

В предыдущем письме я имел честь представить В. В. несколько видов силлогизмов или простых умозаклучений, которые ведут свое начало от первого предложения, когда это предложение — общее, утвердительное или отрицательное. Нам остается, следовательно, вывести еще другие силлогизмы для тех случаев, когда первое предложение — частное, утвердительное или отрицательное, тогда мы получим все возможные виды силлогизмов, позволяющие прийти к правильному заключению.

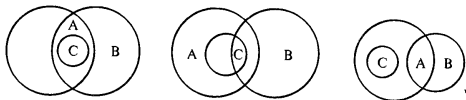
Итак, пусть первое предложение — частное утвердительное и содержится в общей схеме:



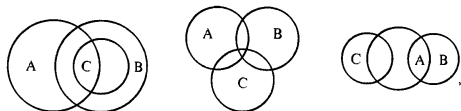
Некоторое A есть B,

где одна часть понятия A входит в понятие B.

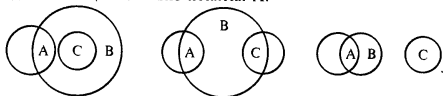
Возьмем теперь третье понятие C, которое, будучи отнесенным к понятию A, либо содержится в понятии A, как на этих схемах:



либо одной своей частью входит в понятие A:

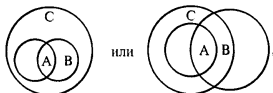


либо находится все целиком вне понятия A:



Во всех этих случаях нельзя сделать никакого заключения, ибо вполне возможно, что понятие С будет содержаться в понятии В или целиком, или частично, или же находиться вне его.

Но если понятие С включает в себя понятие А, то, несомненно, часть его будет также входить в понятие В, а именно:



откуда выводим следующий вид силлогизма:

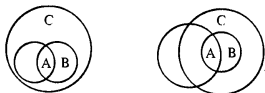
Некоторое А есть В.

Всякое А есть С.

Следовательно:

Некоторое С есть В.

Так же обстоит дело, когда соотносят понятие С с понятием В: нельзя сделать никакого вывода, если только понятие С не содержит в себе понятие В все целиком, а именно:



В этом случае, поскольку часть понятия А содержится в понятии В, та же часть, без сомнения, окажется в понятии С, откуда выводим следующий вид силлогизма:

Некоторое А есть В.

Всякое В есть С.

Следовательно:

Некоторое С есть А.

Предположим, наконец, что первое предложение — отрицательное и частное, а именно:

Некоторое А не есть В,

чему соответствует следующая фигура:



где часть понятия А находится вне понятия В.

В этом случае, если третье понятие С включает в себя понятие А все целиком, одна его часть, без сомнения, окажется также вне понятия В, а именно:



откуда возникает следующий силлогизм:

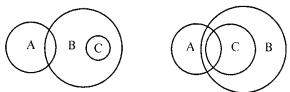
Некоторое А не есть В.

Всякое А есть С.

Следовательно:

Некоторое С не есть В.

Далее, если понятие С содержится все целиком в понятии В, то, поскольку часть А находится вне В, та же самая часть окажется, без сомнения, вне С. Именно:



из чего выводится следующий вид силлогизма:

Некоторое А не есть В.

Всякое С есть В.

Следовательно:

Некоторое А не есть С.

Было бы уместно собрать воедино эти различные формы силлогизмов, чтобы можно было сразу охватить их одним взглядом.

I.	Всякое А есть В Всякое С есть А Следовательно: Всякое С есть В	II.	Всякое А есть В Некоторое С есть А Следовательно: Некоторое С есть В
III.	Всякое А есть В Ни одно С не есть В Следовательно: Ни одно С не есть А	IV.	Всякое А есть В Ни одно В не есть С Следовательно: Ни одно С не есть А
V.	Всякое А есть В Некоторое С не есть В Следовательно: Некоторое С не есть А	VI.	Всякое А есть В Всякое В есть С Следовательно: Некоторое С есть А

Продолжение

VII.	Ни одно А не есть В Всякое С есть А Следовательно: Ни одно С не есть В	VIII.	Ни одно А не есть В Всякое С есть В Следовательно: Ни одно С не есть А
IX.	Ни одно А не есть В Некоторое С есть А Следовательно: Некоторое С не есть В	X.	Ни одно А не есть В Некоторое А есть С Следовательно: Некоторое С не есть В
XI.	Ни одно А не есть В Некоторое С есть В Следовательно: Некоторое С не есть А	XII.	Ни одно А не есть В Некоторое В есть С Следовательно: Некоторое С не есть А
XIII.	Некоторое А есть В Всякое А есть С Следовательно: Некоторое С есть В	XIV.	Некоторое А есть В Всякое В есть С Следовательно: Некоторое С есть А
XV.	Некоторое А не есть В Всякое А есть С Следовательно: Некоторое С не есть В	XVI.	Некоторое А не есть В Всякое С есть В Следовательно: Некоторое А не есть В
XVII.	Всякое А есть В Некоторое А есть С Следовательно: Некоторое С есть В	XVIII.	Ни одно А не есть В Всякое А есть С Следовательно: Некоторое С не есть В
XIX.	Ни одно А не есть В Всякое В есть С Следовательно: Некоторое С не есть А	XX.	Всякое А есть В Всякое А есть С Следовательно: Некоторое С есть В

Я должен отметить, что из этих двадцати видов шестнадцатый вид совпадает с пятым. Пятый превращается в шестнадцатый, если вместо А поставить С, а вместо С — А и пачать со второго предложения. Таким образом, остается только девятнадцать различных видов силлогизмов. Основание всех этих видов сводится к двум принципам, касающимся свойств *содержащего* и *содержимого*:

I. *Все, что находится в содержимом, находится также в содержащем, и*

II. *Все, что вне содержащего — находится также вне содержимого.*

Так, в силлогизме первого вида, где понятие А содержится все целиком в понятии В, очевидно, что если А будет также входить в понятие С, т. е. будет его частью, та же самая часть С будет входить в понятие В и, таким образом, некоторое С будет В.

Итак, каждый силлогизм включает в себя три предложения, из которых два первых называются *посылками*, а третье — *заключением*. Применение всех этих силлогизмов для наших рассуждений имеет то преимущество, что если две посылки правильны, то и заключение непременно будет правильным. Это также единственное средство для раскрытия неизвестной истины: всякая истина должна всегда быть выводом из силлогизма, посылки которого неоспоримо верны. Могу еще добавить, что первая из посылок называется *большой посылкой*, а вторая — *малой посылкой*.

21 февраля 1761 г.

Письмо 105

Анализ некоторых силлогизмов

Если В. В. будет угодно уделить некоторое внимание тем формам силлогизмов, которые я имел честь представить, то В. В. увидит, что каждый силлогизм необходимо включает в себя три предложения, причем первые два называются посылками, а третье — заключением. Достоинство, присущее всем этим девятнадцати формам силлогизмов, состоит в том, что если два первых предложения правильны, то можно быть уверенным и в правильности заключения.

Рассмотрим, например, следующий силлогизм:

Ни один добродетельный человек не злоречив.

Некоторые злоречивые люди — ученые.

Следовательно:

Некоторые ученые не добродетельны.

Если согласны с двумя первыми предложениями, то тем самым вынуждены признать истинность третьего, которое неизбежно из них вытекает. Этот силлогизм соответствует XII фигуре, но то же самое можно сказать и про другие фигуры, которые я вывел; их обоснование, представленное фигурами, сразу становится очевидным.

Здесь мы встречаем три понятия:



А — понятие «добродетельные люди»,



В — понятие «злоречивые люди» и



С — понятие «ученые люди».

Пусть круг А представляет первое понятие, круг В — второе, а круг С — третье. Теперь, поскольку мы говорим в первом предложении, что ни один

добродетельный человек не злоречив, мы тем самым утверждаем, что ничто из того, что содержится в понятии добродетельного человека, или в круге А, не входит в понятие злоречивого человека, или в круг В; следовательно, круг А находится весь целиком вне круга В, а именно:

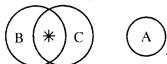


Но во втором предложении говорится, что некоторые люди, включенные в понятие В, входят также в понятие ученых людей, или в круг С: иными словами, часть круга В находится в круге С, а именно:

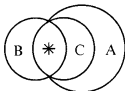


Здесь часть круга В, входящая в С, отмеченная звездочкой, будет также частью круга С. Следовательно, поскольку часть круга С содержится в В, а круг В находится вне круга А, то очевидно, что та же часть круга С должна также находиться вне круга А, или же: «Некоторые ученые не будут добродетельными».

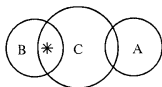
Следует отметить, что это заключение относится только к части понятия С, входящего в понятие В. Что касается остальной части, то здесь неизвестно, исключена ли она также из понятия А, как на этой схеме:



или же помещается в нем вся целиком, как на схеме:*



или же только частично, как на схеме:



Но поскольку это неизвестно, остальная часть круга С не может быть принята во внимание: заключение ограничивается только тем, что очевидно,

* На этой схеме понятие А представлено частью в виде полумесяца вне В.

т. е. что та часть круга С, которая содержится в круге В, обязательно будет находиться вне круга А, поскольку этот круг весь целиком расположен вне круга В.

Таким же способом можно доказать правильность всех других фигур силлогизмов. Но всякие другие фигуры, которые отличаются от девятнадцати приведенных выше или не входят в их число, лишены такого основания и приведут к ошибке и к ложным выводам, если кто-нибудь захочет ими воспользоваться.

В. В. легко сможет распознать эту ошибку из следующего примера, который не входит ни в одну из упомянутых выше девятнадцати форм:

Некоторые ученые — скупы.

Ни один скупой не добродетелен.

Следовательно:

Некоторые добродетельные люди не ученые.

Возможно, что это третье предложение — правильно, но оно не вытекает из посылок, следовательно, посылки могут быть правильными (и без сомнения, являются таковыми), но третье предложение может быть ошибочным, что противоречит самой природе силлогизма, в котором вывод всегда должен быть правильным, если правильны посылки. Ошибочность данной формы бросается сразу в глаза.

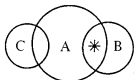
Пусть круг (А) включает всех ученых, круг (В) всех скупых и круг (С) всех добродетельных людей.

Теперь первое предложение представлено следующей схемой:

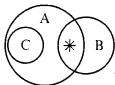


где часть * круга А (ученые) содержится в круге В (скупые).

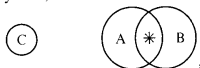
Далее, во втором предложении весь круг С (добродетельные люди) находится вне круга В (скупые). Отсюда вовсе не следует, что часть круга С находится вне круга А.



Возможно даже, что круг С окажется весь целиком в круге А, как изображено на этой схеме:



Или весь целиком вне круга А, как на этой схеме:



хотя он и расположен весь целиком вне В. Итак, эта форма силлогизма будет совершенно ложной и нелепой. Другой пример рассеет всякое сомнение по этому поводу. Некоторые деревья — вишневые; ни одно вишневое дерево не является яблоней. Следовательно, некоторые яблони — не деревья. Эта форма в точности подобна приведенной выше; ложность вывода здесь бросается в глаза, хотя посылки, без всякого сомнения, правильные. Если только силлогизм находится в одной из наших девятнадцати форм, можно быть уверенным, что при правильных двух посылках заключение будет всегда правильным. Отсюда В. В. может понять, как, исходя из нескольких известных истин, приходят к новым истинам, а также что все рассуждения, служащие для доказательства истин в геометрии, могут быть сведены к формальным силлогизмам. Однако нет необходимости всегда представлять наши рассуждения в виде силлогизмов, лишь бы только они основывались на этих последних: когда говорят и пишут, то стараются даже скрыть силлогистическую форму рассуждения.

Я должен еще отметить, что хотя правильность посылок влечет за собой правильность вывода, из этого не обязательно следует, что при одной или обеих ложных посылках заключение также будет ложным. Бесспорно, что при ложном заключении одна из посылок или обе обязательно должны быть ложными: ибо, если они были бы истинными, заключение также было бы истинным. Следовательно, если заключение — ложное, посылки не могут быть правильными.

Я буду иметь честь представить еще некоторые соображения по этому вопросу, поскольку от него зависит достоверность всех наших знаний.

24 февраля 1761 г.

Письмо 106

О различных фигурах и модусах силлогизмов

Соображения, которые мне осталось привести по поводу силлогизмов, сводятся к следующим пунктам.

I. Силлогизм включает в себя только три понятия, называемые терминами, поскольку они выражены словами. Хотя силлогизм содержит три предложения, а каждое предложение — два понятия или термина, нужно принять во внимание, что каждый термин применен по два раза, как в следующем примере:

Всякое А есть В.
Всякое А есть С.
Следовательно:
Некоторое С есть В.

Три понятия, помеченные буквами, А, В, С, являются тремя терминами силлогизма: термин А входит в первое и второе предложение, термин В в первое и третье, а термин С — во второе и третье предложение.

II. Следует точно различать эти три термина каждого силлогизма. Два из них, а именно В и С, входят в *заключение*, причем один (С) — является его *подлежащим*, а другой (В) — его *сказуемым*. В логике подлежащее С заключения называется *меньшим термином*, а сказуемое В заключения — *большим термином*. Третье понятие или термин А находится в обеих посылках, где он сочетается с одним и другим термином заключения. Этот термин А называется *средним термином*. Таким образом, в следующем примере:

Ни один скупой не добродетелен.
Некоторые ученые — скупы.
Следовательно:
Некоторые ученые не добродетельны,

понятие «ученые» — меньший термин, понятие «добродетельные» — больший термин, а понятие «скупой» — средний термин.

III. Что касается порядка следования предложений, то здесь не имеет значения, какая из двух посылок находится на первом или на втором месте, лишь бы заключение стояло на последнем, ибо оно является выводом из посылок. Однако логики сочли нужным установить следующее правило.

Первое предложение — всегда то, которое содержит сказуемое заключения, или больший термин, поэтому это предложение называется большей посылкой.

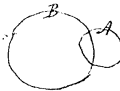
Второе предложение содержит меньший термин, или подлежащее заключения, и поэтому оно называется меньшей посылкой.

Итак, *большая посылка* силлогизма содержит средний термин вместе с большим термином, или сказуемым заключения, а *меньшая посылка* содержит средний термин вместе с меньшим термином, или подлежащим заключения.

IV. В зависимости от того, занимает ли средний термин место подлежащего или сказуемого в посылках, составляют различные *фигуры* силлогизмов: основываясь на этом, логики установили следующие четыре фигуры силлогизмов.

Первая фигура, где средний термин в большей посылке служит подлежащим, а в меньшей — сказуемым.

Вторая фигура, где средний термин является сказуемым, как в большей, так и в меньшей посылке.

1. Si ideas individuum per puncta exprimamus, idea spec.
non et generum commode per spatia representabuntur: Sic
idea hominis spatio quodam A  representatur, ut omni
idea in hoc spatio A contenta sit idea hominis; omni autem idea
extra hoc spatium existens idea non hominis.
2. Si idea A continetur tota in idea B.
Sequentes nascentur propositiones categorice:
Omne A est B; Quoddam A est B
Quoddam B est A; Omne non B est non A
Quoddam non A est B; Quoddam non B est non A
Quoddam non A est non B. Liquidem figura A sit minor quam B
- 
3. Si tantum pars ideae A in idea B
continetur, sequentes propositiones erunt verae:
Quoddam A est B; Quoddam B est A
Quoddam A non est B; Quoddam B non est A
Quoddam non A est B; Quoddam non B est A
Quoddam non A est non B; Quoddam non B est non A.
- 
4. Si tota idea A extra B cadat
Sequentes emergent propositiones:
Omne A est non B; Omne B est non A
Quoddam A est non B; Quoddam B est non A
Quoddam non A est B; Quoddam non B est A
Quoddam non A est non B; Quoddam non B est non A.
- 
- 
5. Ultima propositiones omnibus tribus casibus sunt communes ideoque
nullas plene ideam relationem indicant, unde sunt rejiciende.
Quilibet propositionibus sequentia colligenda:
Omne A est B (Idea A in B tota continetur)
Quoddam A est B (I tota A in B continetur; II Pars A in B continetur)
Omne A est non B (III. tota A extra B est posita)
Quoddam A est non B (II. Pars A intra B continetur; III. tota A extra B est posita)
- 15^{us}

Третья фигура, где средний термин является подлежащим в большей и в меньшей посылке.

Четвертая фигура, где средний термин составляет сказуемое большей посылки и подлежащее — меньшей. Пусть Р будет меньшим термином, или подлежащим заключения, Q — большим термином, или сказуемым заключения, а М — средним термином. Тогда четыре фигуры силлогизмов будут изображены следующим образом:

Первая фигура

Большая посылка	М Q
Меньшая посылка	Р М
Заключение	Р Q

Вторая фигура

Большая посылка	Q М
Меньшая посылка	Р М
Заключение	Р Q

Третья фигура

Большая посылка	М Q
Меньшая посылка	М Р
Заключение	Р Q

Четвертая фигура

Большая посылка	Q М
Меньшая посылка	М Р
Заключение	Р Q

V. Далее, в зависимости от того, являются ли сами посылки общими или частными, утвердительными или отрицательными, каждая фигура будет иметь несколько форм, называемых *модусами*. Чтобы лучше представить эти модусы каждой фигуры, помечают буквой А общеутвердительные суждения; буквой Е — общеотрицательные суждения; буквой I — частноутвердительные суждения; и наконец, буквой О частноотрицательные суждения.

Итак:

А — представляет общеутвердительное суждение.

Е — представляет общеотрицательное суждение.

I — представляет частноутвердительное суждение.

О — представляет частноотрицательное суждение.

VI. Следовательно, девятнадцать видов силлогизмов, приведенных выше, сводятся к этим четырем фигурам, которые я только что перечислил, а именно:

I. Модусы первой фигуры

Первый модус A.A.A. Всякое М есть Q Всякое Р есть М Следовательно: Всякое Р есть Q	Второй модус A.J.J. Всякое М есть Q Некоторое Р есть М Следовательно: Некоторое Р есть Q
Третий модус E.A.E. Ни одно М не есть Q Всякое Р есть М Следовательно: Ни одно Р не есть Q	Четвертый модус E.J.O. Ни одно М не есть Q Некоторое Р есть М Следовательно: Некоторое Р не есть Q

II. Модусы второй фигуры

Первый модус A.E.E. Всякое Q есть М Ни одно Р не есть М Следовательно: Никакое Р не есть Q	Второй модус A.O.O. Всякое Q есть М Некоторое Р не есть М Следовательно: Некоторое Р не есть Q
Третий модус E.A.E. Ни одно Q не есть М Всякое Р есть М Следовательно: Ни одно Р не есть Q	Четвертый модус E.J.O. Ни одно Q не есть М Некоторое Р есть М Следовательно: Некоторое Р не есть Q

III. Модусы третьей фигуры

Первый модус A.A.J. Всякое М есть Q Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р есть Q	Второй модус J.A.J. Некоторое М есть Q Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р есть Q
---	--

Третий модус A.J.J. Всякое М есть Q Некоторое М есть Р Следовательно: Некоторое Р есть Q	Четвертый модус Е. А. О. Ни одно М не есть Q Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р не есть Q
Пятый модус Е. J. О. Ни одно М не есть Q Некоторое М есть Р Следовательно: Некоторое Р не есть Q	Шестой модус О. А. О. Некоторое М не есть Q Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р не есть Q

IV. Модусы четвертой фигуры

Первый модус А. А. J. Всякое Q есть М Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р есть Q	Второй модус J. А. J. Некоторое Q есть М Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р есть Q
Третий модус А. Е. Е. Всякое Q есть М Ни одно М не есть Р Следовательно: Ни одно Р не есть Q	Четвертый модус Е. А. О. Ни одно Q не есть М Всякое М есть Р Следовательно: Некоторое Р не есть Q

Пятый модус

Е. J. О.

Ни одно Q не есть М
Некоторое М есть Р
Следовательно:
Некоторое Р не есть Q

В. В. может увидеть, что первая фигура имеет четыре модуса, вторая — тоже четыре, третья — шесть и четвертая — пять. Таким образом, общее число всех этих модусов равно *девятнадцати*; это те самые формы, которые

я приводил выше, и теперь распределил по четырем фигурам. Впрочем, правильность каждого из этих модусов уже доказана выше, с помощью круговых схем, которыми я изобразил понятия. Все различие сводится к тому, что здесь я применил буквы Р, М, Q вместо А, В, С.

28 февраля 1761 г.

Письмо 107

Наблюдения и размышления относительно различных модусов силлогизмов

Я полагаю, что нижеследующие рассуждения немало будут способствовать прояснению природы силлогизмов. Да будет угодно В. В. рассмотреть разные виды предложений, составляющих силлогизмы каждой из четырех фигур, и определить, являются ли они:

1) общеутвердительными, которые обозначаются знаком А, или 2) общеотрицательными, которые обозначаются знаком Е, или 3) частноутвердительными, которые обозначаются знаком I, или, наконец, 4) частноотрицательными, которые обозначаются знаком О.

В. В. тогда охотно согласится с правильностью следующих рассуждений.

I. Обе посылки не являются нигде отрицательными; откуда логики выводят следующее правило.

Из двух отрицательных посылок нельзя сделать никакого заключения. Причина ясна: ибо, считая Р и Q терминами заключения, а М — средним термином, при обеих отрицательных посылках невозможно определить, что понятия Р и Q полностью или частично находятся вне М; а поэтому нельзя сделать вывод относительно совместимости или несовместимости понятий Р и Q. Например, хотя я знаю из истории, что галлы не были римлянами и что кельты также не были римлянами, это еще не позволяет решить вопрос, были ли галлы кельтами или нет.¹ Итак, две отрицательные посылки не приводят ни к какому заключению.

II. Обе посылки нигде не являются частными; отсюда логики выводят следующее правило.

Из двух частных посылок нельзя сделать никакого заключения. Так, например, из того, что некоторые ученые бедны и некоторые ученые злоязычны, нельзя сделать вывод, являются ли бедные злоязычными или нет. Стоит хоть немного задуматься над сущностью логического следствия, как тотчас же станет ясно, что две частные посылки не ведут ни к какому заключению.

III. Если одна из посылок — отрицательная, то и заключение также должно быть отрицательным. Это — третье правило, которое мы находим в логике. Если что-то отрицается в посылках, то нельзя ничего утверждать в

заключении, вывод обязательно будет тоже отрицательным. Это правило наглядно подтверждается всеми правилами силлогизмов, верность которых я доказал выше.

IV. Если одна из посылок — частная, заключение также должно быть частным.

Это — четвертое правило, предписываемое логикой. Поскольку частные суждения характеризуются словом «некоторые», то, если говорят только о некоторых в посылках, нельзя говорить в заключении о чем-то общем: заключение должно быть ограничено «некоторыми». Это правило также подтверждается всеми видами силлогизмов, правильность которых не подлежит сомнению.

V. Когда обе посылки — утвердительные, заключение также должно быть утвердительным. Но даже если обе посылки — общие, вывод не обязательно должен быть общим, иногда он будет частным, как например в первых модусах третьей и четвертой фигур.

VI. Помимо суждений общих и частных, прибегают иногда к *единичным* суждениям, в которых подлежащим является индивид. Например, когда я говорю: «Вергилий был великий поэт», то здесь имя Вергилия не является общим понятием, относящимся ко многим существам. Это собственное имя отдельного, реального человека, жившего некогда. Подобное суждение называется *единичным*. Когда оно входит в силлогизм, важно определить, следует ли его рассматривать как соответствующее общим или частным суждениям.

VII. Некоторые авторы утверждали, что *единичное* суждение следует относить к категории частных на том основании, что в частном суждении говорится только о некоторых объектах, включенных в понятие, тогда как в общем суждении говорится о целом. Когда речь идет об отдельном объекте, говорят они, то это еще меньше, чем если бы говорили о некоторых, а следовательно, *единичное* суждение должно рассматриваться как в высшей степени частное.

VIII. Каким бы обоснованным ни казался этот довод, его невозможно принять. Основная особенность частного суждения в том, что оно не говорит о всех существах, входящих в понятие подлежащего, тогда как в общем суждении говорится обо всех без исключения. Так, когда говорят: «Некоторые жители Берлина — бедны», то подлежащим этого предложения является понятие «жители Берлина». Но это подлежащее не берется здесь в полном объеме, его значение намеренно ограничено словом «некоторые». Именно этим частные суждения существенно отличаются от общих: они имеют в виду только часть объектов, подразумеваемых подлежащим.

IX. После этого замечания становится очевидным, что следует рассматривать *единичное* суждение как суждение *общее*. Ибо, если говорить об отдельном объекте, в данном случае о Вергилии, это суждение никак не ограничивает понятие подлежащего, коим является сам Вергилий, но скорее

включает это понятие в полном объеме. Именно поэтому те же правила, которые обязательны для общих суждений, действительны также и для единичных суждений.

Следующий силлогизм — вполне правилен:

Вольтер — философ.

Вольтер — поэт.

Следовательно:

Некий поэт — философ.

Но он был бы ошибочным, если бы обе посылки были частными. Однако, поскольку их можно рассматривать как общие, этот силлогизм относится к третьей фигуре, к первому модусу, имеющему форму А. А. J. Индивидуальное понятие «Вольтер» — здесь средний термин, который является подлежащим меньшей и большей посылки, что характерно именно для третьей фигуры.

Х. Наконец, я должен отметить, что говорил до сих пор только о *простых предложениях*, включающих два понятия, из которых одно утверждается или отрицается полностью или частично. Что же касается сложных предложений, то здесь требуются особые правила.

3 марта 1761 г.

Письмо 108

О гипотетических предложениях и о силлогизмах, которые на них основаны

До сих пор мы рассматривали только простые предложения, содержащие лишь по два понятия, из которых одно служит подлежащим, а другое — сказуемым. Подобные предложения не могут составить других силлогизмов, кроме тех, которые я имел честь представить В. В.; они собраны в четырех фигурах, объясненных мною выше. Но часто пользуются также сложными предложениями, в которые входит более двух понятий. В этом случае, чтобы извлечь заключение, следует придерживаться других правил. Из этих сложных предложений наиболее употребительными являются те, которые называют *гипотетическими*, или *условными*. Они включают в себя два целых предложения, причем предполагается, что «если одно из них истинно, то и другое будет также истинным». Вот пример условного предложения: «Если газеты говорят правду, то мир вскоре будет заключен». Здесь имеем два предложения: первое — «Газеты говорят правду», или же «Газеты — правдивы», и второе — «Мир будет скоро заключен»,¹ или же «Мир близок». Между этими двумя предложениями устанавливается такая связь, что если первое истинно, то и

другое будет истинным. Иными словами, утверждают, что второе предложение является необходимым следствием первого, так что коль скоро верно первое, то и второе будет верным. Предположим, что газеты много говорят о близком наступлении мира, и тогда у нас будут основания говорить, что «если газеты правдивы, то должен скоро наступить мир». Кроме этого условия, здесь не дается ничего. Но если добавить еще какое-нибудь предложение, то вывод может быть получен двумя способами. Первый применяется, когда кто-то нас убеждает в том, что «газеты правдивы», ибо в этом случае мы заключаем, что «мир близок». Другой способ применим, когда нас заверяют, что «мир наступит еще очень скоро». В этом случае мы, не колеблясь, сделаем вывод, что «газеты не говорят правды».

Из этого В. В. должно быть ясно, что в любом случае могут быть применены эти два способа выводить заключение и что они дадут две формы гипотетических или условных силлогизмов, которые можно представить следующим образом.

Первая форма:

Если А есть В, то С есть D.

А есть В.

Следовательно:

С есть D.

Вторая форма:

Если А есть В, то С есть D.

С не есть D.

Следовательно:

А не есть В.

Существуют только эти два способа выводить заключения, которые будут правильными; поэтому следует остерегаться соблазна применять следующие две формы, совершенно ложные.

Первая ложная форма:

Если А есть В, то С есть D.

А не есть В.

Следовательно:

С не есть D.

Вторая ложная форма:

Если А есть В, то С есть D.

С есть D.

Следовательно:

А есть В.

Если вернуться к нашему примеру с газетами и миром, то было бы неправильно рассуждать следующим образом:

Если газеты говорят правду, то мир скоро наступит.

Газеты не говорят правды.

Следовательно:

Мир скоро не наступит.

Вполне справедливо, что газеты не говорят правды, но, несмотря на это, мир вполне может скоро наступить.

Другая форма может быть также ложной:

Если газеты говорят правду, то мир близок.

Мир близок.

Следовательно:

Газеты говорят правду.

Предположим, что эта утешительная истина: «Мир близок» получена нами из таких источников, что мы уже не можем в ней сомневаться. Однако из этого не следует, что газеты говорят правду или что они никогда не лгут. Я по крайней мере надеюсь, что мир скоро наступит, хотя и далек от того, чтобы полагаться на правдивость газет. Следовательно, эти две последние формы силлогизмов будут ложными. Но две предыдущие, без сомнения, правильны и никогда не приводят к ошибочному выводу, если только первая посылка верна и последнее суждение является необходимым следствием первого. В следующем условном предложении «Если А есть В, то С есть D», первую часть «А есть В» называют *антецедентом*, или основанием, а другую часть «С есть D» — *консеквентом*,² или следствием.

Исходя из этого логика нам предписывает, для того чтобы наши рассуждения были правильными, следующие два правила.

I. *Кто выражает согласие с антецедентом, должен также согласиться с консеквентом.*

II. *Кто отрицает или отвергает консеквент, должен также отрицать или отвергать антецедент.*

Однако можно отрицать антецедент, не отрицая консеквента; и также выражать согласие с консеквентом, не соглашаясь с антецедентом. Есть еще и другие сложные предложения, из которых также можно составлять силлогизмы. Но я полагаю, что достаточно привести один пример.

Если взять предложение: всякая субстанция есть тело, или дух, то можно сделать следующие два вывода.

I. Некая субстанция не есть тело. Следовательно: Она есть дух.

II. Некая субстанция есть тело. Следовательно: Она не есть дух.

Однако было бы излишне еще дольше задерживать внимание В. В. на этой теме.

7 марта 1761 г.

Письмо 109

О воздействии ощущений на душу

После того как я имел честь изложить В. В. основы логики, которая дает нам надежные правила для правильного построения умозаключения, я хочу вкратце остановиться на вопросе об идеях. Первичные идеи (или представления), без сомнения, возникают у нас в результате воздействия реальных объектов на наши органы чувств. В то время когда какой-нибудь объект действует на наши чувства, в душе возникает ощущение того же самого объекта. Чувства не только сообщают душе представления об этом объекте, но они также утверждают реальность его существования вне нас.

Важно отметить, что душа безразлична к ощущениям, которые всегда сопровождаются более или менее ясным чувством удовольствия или неудовольствия. Полученное однажды таким способом представление о каком-нибудь объекте не исчезает после того, как прекращается воздействие объекта на наши органы чувств; пропадает только ощущение, приятное или неприятное, испытываемое душой, но сама идея или представление об объекте сохраняется. Это не означает, что представление все время присутствует в душе или что душа беспрестанно о нем думает, но душа обладает способностью пробуждать или воспроизводить в памяти это представление так часто, как ей захочется. Такая способность души вспоминать однажды воспринятую идею называется *вспоминанием*, или *воображением*, и заключает в себе источник нашей памяти. Без этой способности воспроизводить прежние идеи первичная способность ощущать оказалась бы для нас бесполезной. Если бы мы незамедлительно утрачивали память о воспринятых нами идеях, то мы уподобились бы новорожденному ребенку и пребывали бы в самом глубоком неведении.

Воображение есть самый ценный дар, ниспосланный нам Творцом; именно в этом духовные силы проявляют себя с наибольшим блеском, ибо таким путем душа приходит к познанию самых возвышенных истин. Однако, хотя идеи, воспроизведенные памятью, представляют нам те же объекты, что и идеи непосредственно воспринятые, в отличие от последних они не сопровождаются ни ощущением, ни уверенностью в реальном существовании объектов, породивших эти представления. В. В., увидев однажды пожар, сможет когда угодно вызвать в памяти это представление, не думая, однако, что пожар происходит на самом деле. Возможно даже, что В. В. длительное время не будет думать об этом пожаре, сохраняя тем не менее способность воспроизвести в памяти эту идею. Так же обстоит дело и со всеми другими когда-либо воспринатыми представлениями. Но часто случается и так, что мы почти совсем утрачиваем воспоминание об этих представлениях, совсем их забываем. Между тем есть существенное различие между представлениями забытыми и совершенно неизвестными, никогда у нас не возникавшими. Относительно забытых надо сказать, что, как только тот же самый объект вновь начинает возбуждать наши

чувства, мы значительно легче улавливаем представление, вспомнив, что это и есть тот самый забытый нами объект. Это не могло бы произойти, если бы соответствующее представление никогда у нас не возникало.

Материалисты хвалятся, что именно в этом они находят самые убедительные доказательства в пользу их теории. По их утверждению, из этого явствует, что душа есть не что иное, как тончайшая материя, на которой внешние объекты, действуя посредством чувств, оставляют некие легкие отпечатки; отпечаток такого рода и есть представление об объекте, и пока оно существует, сохраняется воспоминание, но представление будет забыто, когда отпечаток полностью сотрется.

Если бы это рассуждение было обоснованным, то идеи всегда присутствовали бы в нашем сознании до тех пор, пока мы их не забудем. Однако это не так, ибо мы воспроизводим их в памяти по нашему желанию. И если отпечаток сгладится, каким образом материя, вновь получая этот отпечаток, сможет вспомнить, что он у нее некогда был? И затем, хотя не подлежит сомнению, что воздействие объектов на органы чувств вызывает в мозгу некое изменение, последнее существенно отличается от порожденного им представления. Как чувство удовольствия и неудовольствия, так и суждение о природе самого объекта, оказавшего это воздействие, явно требует наличия субстанции, не имеющей ничего общего с материей и наделенной качествами совершенно иного рода.

Наши познания не ограничиваются непосредственно воспринятыми представлениями. Те же идеи, воспроизведенные памятью, образуют с помощью абстракции общие идеи, заключающие в себе одновременно целый ряд различных обособленных идей. Сколько отвлеченных идей возникает у нас относительно свойств и атрибутов явлений, которым не соответствует ничего реального в материальном мире, как например понятия добродетели, мудрости и т. п. Все это относится только к области *понимания*, являющегося лишь одной частью душевной деятельности, другая область не менее обширна, в нее входят *воля и свобода*, от которых зависят все наши решения и поступки.

В материальных телах нет ничего, что было бы как-то связано с этой способностью души, которая позволяет ей свободно решаться на определенные действия, даже по зрелом размышлении. Душа принимает во внимание мотивы, хотя и не испытывает с этой стороны принуждения. Одним словом, свобода настолько необходима душе и всем духовным субстанциям, что было бы столь же невозможно представить себе дух без свободы, как и тело без протяженности. И сам Бог не мог бы лишиться дух этого существенного атрибута. Именно так можно легко разрешить все трудные вопросы о происхождении зла, о допустимости греха и всех зол, тяготеющих над нашим миром; единственным источником всего этого является свобода воли людей.

Письмо 110

*Более детальные размышления
о происхождении и допустимости
зла и грехов в мире*

Происхождение и допустимость зла в нашем мире — это вопрос, который во все времена затруднял теологов и философов. Верить, что Бог — всеблагое существо — сотворил мир, и в то же время видеть, как много в нем зла, кажется настолько противоречивым, что некоторые философы сочли необходимым признать наличие двух начал, одно воплощает высшее благо, другое — высшее зло. Таково было учение древних еретиков, известных под именем манихейцев,¹ которые впали в эту крайность, не видя иного способа объяснить происхождение зла. Хотя этот вопрос чрезвычайно сложен, одна только ссылка на свободу как основной атрибут человеческого духа позволяет разрешить многие из этих трудностей, которые в противном случае оказались бы непреодолимыми.

И действительно, когда Бог сотворил людей, уже невозможно было предотвратить грех, ибо свобода человека не допускала никакого принуждения. Однако, могут нам возразить, лучше было бы не создавать таких людей или такие духовные субстанции, относительно которых Бог предвидел, что они будут злоупотреблять своей свободой и предаваться греху. На мой взгляд, было бы чересчур смелым вдаваться в рассуждение по этому поводу и судить о том, какой выбор должен был сделать Бог, творя одушевленные существа. Может быть, план Вселенной требовал существования духовных субстанций всякого рода. И действительно, если мы подумаем, что не только на нашей Земле, но и на всех планетах живут разумные существа, и более того, что все неподвижные звезды — это солнца и вокруг каждого из них обращается некоторое число планет, также обитаемых, то станет ясно, что число существ, одаренных разумом, которые существовали, существуют и будут существовать во Вселенной, должно быть бесконечным. Следовательно, было бы непростительно дерзко утверждать, что Бог не должен был одарить жизнью многие одушевленные существа; да и те, кто упрекает в этом Бога, сами бы не захотели оказаться в числе тех, кому Бог отказал в праве на существование. Итак, первое возражение отпадает, ибо то, что жизнь была дарована всем одушевленным существам, как добрым, так и злым, нисколько не умаляет совершенства Бога.

Далее утверждают, что Бог мог бы пресечь своим всемогуществом злобу разумных существ. Здесь я хочу отметить, что свобода, столь неотъемлемо присущая всем разумным существам, не допускает никакого принуждения. Единственный способ управлять разумными существами — это предоставить мотивы, побуждающие их к добру и отвращающие от зла. Но и в этом

нельзя найти ни малейшего основания для жалоб. Без сомнения, всем разумным существам были предоставлены самые сильные мотивы, чтобы наставить их к добру, поскольку основанием для этих мотивов являлось их собственное спасение; но эти мотивы не действуют путем принуждения, ибо это противоречило бы природе духа и вообще было бы невозможно. Сколько бы злы ни были люди, они никогда не будут ссылаться в свое оправдание на незнание мотивов, которые должны были привести их к добру. Божественный закон, ведущий людей к собственному спасению, запечатлен в их сердцах, и всегда они виноваты сами, когда стремятся ко злу. Религия открывает нам и другие способы, применяемые Богом, чтобы отвратить нас от заблуждений, и поэтому мы можем смело утверждать, что Бог ничего не упустил из того, что способно предупредить бурные проявления злобы у людей и других разумных существ. Однако те, кого одолевают сомнения относительно происхождения и допустимости зла во Вселенной, постоянно смешивают телесный мир и мир духовный. Они полагают, что дух может быть подвергнут такому же принуждению, как и тело. Суровая дисциплина часто способна предотвратить открытые проявления злобы у детей в семье, у солдат в армии или у горожан, но здесь уместно отметить, что принуждение распространяется только на телесный мир и никак не препятствует духу оставаться таким же злобным и порочным, как если бы он пользовался неограниченной свободой. Мирские власти довольствуются таким показным внешним спокойствием и не очень интересуются подлинным настроением умов. Но перед Богом все мысли открыты, и дурные наклонности одинаково отвратительны независимо от того, скрыты ли они от других или выражаются в самых гнусных поступках. Люди позволяют себя ослепить обманчивой видимостью, но Богу известны подлинные склонности каждого человека, как добродетельные, так и порочные, вне зависимости от поступков, которые из них проистекают. Самые убедительные свидетельства тому содержатся в Св. Писании;² оно учит нас, что тот, кто, буруемаемый ненавистью, замышляет гибель своего ближнего, столь же виновен перед Богом, как и тот, кто на самом деле его убивает; что человек, буруемаемый желанием чужого добра, будет перед Богом таким же вором, как тот, кто на самом деле крадет. Именно этим власть Бога над разумными существами коренным образом отличается от власти, которую люди осуществляют по отношению к своим ближним. Серьезно ошибаются те, кто думает, что образ правления, представляющийся наилучшим в глазах людей, действительно является таковым перед Божиим судом. Это мысль, которую мы не должны никогда упускать из виду.

Письмо 111

О моральных и физических несчастьях

Когда сетуют на существование зла в нашем мире, то при этом подразумевают два вида зла: зло *моральное* и зло *физическое*. К категории *морального* зла относятся дурные и порочные наклонности, предрасположение душ ко злу, или же грех, который, без сомнения, является величайшим злом и величайшим пороком из всех существующих на земле.

Действительно, что касается одухотворенных существ, то у них наиболее безнравственным является отклонение от вечных законов добродетели и стремление к пороку. Добродетель — единственное средство, способное сделать человеческий дух счастливым, и даже Бог не может даровать счастье порочной душе.¹ Всякий человек, если он предается пороку, непременно несчастен, и пока он вновь не обратится к добродетели (что часто невозможно), его несчастьям не будет конца. Вот то представление, которое сложилось у меня относительно дьявола, злых духов и ада, и, как мне кажется, оно вполне согласуется с тем, что говорит нам Св. Писание. Вольнодумцы поднимают на смех тех, кто говорит при них о бесах. Однако подобно тому, как люди не могут считать себя лучшими из всех разумных существ, точно так же они не могут похвалиться тем, что являются самыми злыми: есть, без сомнения, существа значительно более злые, чем самые порочные люди, а именно — бесы. Но я уже указывал ранее В. В., что существование в мире многих злых душ и злых людей не должно препятствовать признанию совершенства нашего мира и в особенности совершенства Всевышнего. Духовное существо, не исключая и беса, всегда является совершенным созданием, намного превосходящим все мыслимое в физическом мире. И наш мир, поскольку он содержит бесконечное число самых различных духовных существ, всегда будет наисовершенным творением. Но так как духи по природе своей свободны, грех стал возможен с самого начала их существования, и предотвратить грех не в состоянии даже всемогущество Божие. Бесовствующие духи являются также виновниками зол, неизбежно проистекающих из греха, ибо каждое свободное существо всегда будет единственным виновником совершаемых им деяний. Следовательно, Создатель не может быть ответствен за это зло, подобно тому как у людей мастер, изготавливающий шпаги, не отвечает за те несчастья, которые эти шпаги причиняют. Таким образом, в отношении морального зла, господствующего в нашем мире, высшая благость Бога обоснованно доказана.

К другому виду зла, т. е. злу *физическому*, относятся все несчастия и общественные бедствия, которым подвергаются люди в нашем мире. Можно согласиться с тем, что эти бедствия в большинстве своем являются неизбежным следствием злобы и порочных наклонностей, которыми оравлены люди, а также и другие одушевленные существа. Но, поскольку эти последствия про-

являются в телесной сфере, возникает вопрос, почему Бог допустил, чтобы злые души оказывали столь мощное воздействие на тела и использовали их как оружие для осуществления своих пагубных замыслов? Отец, увидев своего сына готовым убить человека, должен был бы вырвать у него шпагу из рук и не позволить ему совершить злодеяние. В связи с этим напомним сказанное мною выше: этот злодей-сын будет одинаково виновен перед Богом независимо от того, осуществил ли он свой замысел или же напрасно употребил все усилия, чтобы добиться цели; и отец, который удержал сына от преступления, не сделал его тем самым лучше.

Однако можно смело утверждать, что Бог не открывает свободных путей перед людской злобой. Если бы ничто не препятствовало осуществлению всех пагубных замыслов людей, сколь мы были бы несчастливы! Мы часто видим, как злые люди встречаются с серьезными препятствиями, и даже если они добиваются успеха, то все же не могут совладать с последствиями своих поступков, которые из-за их зависимости от многих привходящих обстоятельств принимают совершенно другой оборот. Однако нельзя отрицать, что из этого проистекают общественные бедствия и несчастья, вызывающие страдания человеческого рода. Поэтому и думают, что мир был бы значительно лучше управляем, если бы Бог обуздал злобу и дерзость людей.

Богу было бы, без сомнения, легко умертвить тирана, прежде чем он успеет проявить свою власть над столькими достойными людьми; или же лишить дара речи несправедливого судью, до того как он вынесет пагубный приговор. Тогда мы могли бы жить спокойно и наслаждаться, при условии, что Бог дарует нам хорошее здоровье и все желанные блага; и наше счастье стало бы незыблемым. Именно такое устройство мира, по мнению некоторых, могло бы сделать нас всех счастливыми: злые были бы лишены возможности проявлять свою злобу, а добрые обладали бы всеми благами, которые только можно пожелать, и спокойно наслаждались бы ими. Верят (с полным основанием), что Бог действительно желает счастья людям, и очень удивляются тому, что устройство нашего мира так отличается от плана, который, как им представляется, наиболее пригоден для достижения этой цели. Мы видим, однако, что злые люди не только часто наслаждаются всеми благами жизни, но сверх того имеют возможность осуществлять свои гнусные планы к стыду добропорядочных людей. Мы видим также, что добрые люди подвергаются угнетению и страдают от самых тяжких недугов, болезней, горя, значительных потерь имущества и прочих несчастий. Мы видим, наконец, что добрые люди, так же как и злые, должны неизбежно умереть, а смерть, по-видимому, есть величайшее из всех зол.

Если рассматривать мир с этой точки зрения, то появится соблазн усомниться в мудрости и всеблагости Создателя; во все времена даже верующие, случалось, впадали в такое заблуждение; это — подводный камень, которого следует тщательно остерегаться.

Письмо 112

*Ответ тем, кто жалуется на физические бедствия
в этом мире*

Даже если наше существование ограничивалось бы только земной жизнью, весьма сомнительно, чтобы мирские блага и наслаждение всеми удовольствиями дали бы нам всю полноту счастья. Все согласны с тем, что подлинное блаженство состоит в покое и в душевном довольстве, а это почти никогда не связано с блестящим общественным положением, которое кажется счастьем только тем, кто судит поверхностно. То, что мирские блага недостаточны для нашего счастья, становится еще более очевидно, когда мы начинаем размышлять об истинном нашем предназначении. Наше существование не кончается со смертью, вернее сказать, смерть переносит нас в другую жизнь, которая должна длиться вечно. Деятельные силы нашей души и наши знания станут тогда, без сомнения, более совершенны, и именно от состояния, в котором мы будем тогда находиться, зависит наше истинное блаженство. Состояние же это не может быть счастливым, если нет добродетели и самых высоких нравственных качеств. Бесконечные совершенства Всевышнего, которые нам видны теперь как бы сквозь густые облака, явятся тогда во всем своем блеске и станут главным предметом нашего созерцания, восхищения и поклонения. Не только наш разум обретет там самые совершенные знания, но мы также (как смеем надеяться) сможем спискать милость Всевышнего и удостоиться величайшего дара его любви. Какими счастливыми мы считаем тех, кто пользуется благосклонностью великого государя, в особенности если этот государь поистине велик, хотя такие милости сопровождаются множеством огорчений! Что же произойдет в будущей жизни, когда сам Всемогущий Бог дарует нам свою любовь, — любовь, не подверженную никогда никаким превратностям? Это будет тогда величайшее счастье, намного превосходящее все, что мы только можем себе представить.

Чтобы быть причастными к величайшей милости любви Всевышнего, мы также — вполне естественно — должны быть проникнуты самой живой любовью к Богу. Это блаженное единение требует от нас некоей предрасположенности, без чего мы не могли бы быть к этому причастны. Она состоит в добродетели, основанной на любви к Богу и любви к ближнему.¹ Именно к добродетели мы должны стремиться в этой жизни, которая дана нам единственно для того, чтобы подготовиться и стать достойными приобщения к высшему и вечному блаженству. Исходя из этого, нам следует совершенно иначе судить о событиях, которые происходят с нами в этой жизни. Не обладание благами мирскими делает нас счастливыми, но скорее все то, что действительно ведет к добродетели. Если благоденствие было бы верным средством, чтобы стать добродетельным, то тогда мы могли бы сетовать на превратности судьбы. Однако несчастья скорее могут укрепить в нас до-

бродетель, и поэтому несостоятельны все жалобы людей на физическое зло в этой жизни.

Поэтому В. В. должно быть понятно, что у Бога были серьезные основания ввести в этот мир столько бедствий и страданий, ибо все это, очевидно, ведет к нашему спасению. Справедливо, что эти бедствия в большинстве случаев являются естественным следствием злобы и испорченности людей, но именно поэтому мы должны восхищаться бесконечной премудростью Всевышнего, который умеет направить самые порочные деяния к нашему спасению. Столько достойных людей не пришло бы к добродетели, если бы их не угнетала и не заставляла страдать несправедливость других.

Я уже указывал, что дурные поступки плохи только для тех, кто их совершает. Преступно только злобное намерение их души, сам же поступок относится к телесной сфере, и если его рассматривать независимо от того, кто его совершил, то мы не увидим в нем ничего ни хорошего, ни дурного. Каменщик, упав с крыши на человека, может его убить так же, как и самый закоренелый убийца. Результат здесь один и тот же, но бедный каменщик не ответствен за него, тогда как убийца заслуживает самой суровой кары. Итак, какими бы преступными не были действия, касающиеся тех, кто их совершает, мы должны их рассматривать совершенно иначе в том случае, если они касаются нас, или оказывают какое-то влияние на наше положение. Тогда нам следует прийти к выводу, что с нами не может случиться ничего, несогласного с верховной премудростью Бога. Злые люди могут вполне совершать несправедливости, но мы никогда от этого не пострадаем; никто не причинит нам вреда, даже если он сам неправ; и во всем происходящем с нами мы должны всегда видеть волю Бога, как если бы от его непосредственных велений зависели все события в нашей жизни. Кроме того, мы можем быть уверены, что не по прихоти и не ради нашего огорчения Бог располагает этими касающимися нас событиями, но что они неизбежно ведут к подлинному нашему блаженству. Те, кто именно так воспринимает все происходящее с ним, вскоре с удовлетворением убедятся, что Бог проявляет по отношению к ним особую заботу.

21 марта 1761 г.

Письмо 113

Об истинном предназначении людей и о пользе и необходимости бедствий в этом мире

Я надеюсь, что у В. В. не возникнет больше сомнений в связи с этим важным вопросом: как можно зло в нашем мире совместить с премудростью и высшей благостью Создателя? Решение этого вопроса, без сомнения, основано на истинном предназначении людей и других разумных существ, бытие которых не ограничено земной жизнью. Упуская из виду эту важнейшую истину, мы ока-

жемся пред лицом непреодолимых трудностей. Если бы люди были созданы только для земной жизни, то никакими средствами нельзя было бы отстоять совершенства Божии перед лицом всех зол и бедствий, которые тяготели бы тогда над нашим миром. Эти бедствия стали бы в этом случае совершенно реальными, и уже было бы невозможно объяснить тогда, как благоденствие злых и страдания достойных людей совместимы со справедливостью Бога.

Но если только подумать, что земная жизнь есть лишь начало нашего существования и должна нас подготовить к другой жизни, которая будет длиться вечно, то наш взгляд на вещи совершенно изменится и нам придется иначе судить о зле, господствующем, как нам кажется, в этой жизни. Я уже указывал, что благоденствие, которым мы наслаждаемся в этом мире, совершенно непригодно для того, чтобы подготовить нас к будущей жизни или же сделать достойными счастья, которое там нас ожидает. Сколь важным ни казалось бы нам обладание земными благами, чтобы сделать нас счастливыми, это свойство присуще им, лишь если они служат доказательством благодати Бога: без Бога эти блага никогда не составят нашего счастья. Истинное блаженство мы можем обрести лишь в самом Боге, тогда как все другие наслаждения являются только мимолетной тенью блаженства и могут удовлетворить нас лишь кратковременно. Поэтому мы и видим, что те, кто наслаждается изобилием земных благ, вскоре пресыщается, это призрачное счастье служит лишь для возбуждения желаний и разгула страстей, тем самым не приближая, а удаляя людей от высшего блага. Истинное же блаженство состоит в совершенном единении с Богом, а это возможно, только если мы любим Бога превыше всего, самой чистой любовью и питая к нему безграничное доверие: очевидно, что такая любовь требует некоей душевной склонности, к чему мы и должны готовиться в земной жизни.

Такая склонность есть добродетель, основа которой содержится в следующих двух великих заповедях: «Возлюби Господа Бога твоего всем сердцем твоим и всею душою твоею, и всеми силами твоими, и всем разумением твоим». И другая, подобная ей: «Возлюби ближнего твоего как самого себя».

Всякая другая склонность души, отступающая от этих двух заповедей, порочна и совершенно недостойна приобщить нас к истинному блаженству. Подобно тому как глухой человек не способен наслаждаться прекрасной музыкой, так и порочный человек не может испытать высшего счастья в вечной жизни. Порочные люди будут этого лишены навсегда, и не по Божьему произволению, а по самой природе вещей, ибо порочный человек по натуре своей неспособен к восприятию высшего счастья.

Если рассматривать мироустройство с этой точки зрения, то все покажется нам соответствующим этой великой цели. Все события и даже превратности, с которыми нам приходится встречаться, — это наилучший путь к достижению истинного счастья; исходя из этого, можно признать, что наш мир действительно является наилучшим, поскольку все в нем способствует нашему спасению. Когда я думаю о том, что ничто не происходит со мной случайно и

что все события направляются Провидением, чтобы даровать мне счастье, то не должна ли эта мысль вознести меня к Богу и наполнить мою душу самой чистой любовью! Но какими бы действительными ни были сами по себе эти средства, которые ведут нас к счастью, они не заставят дух им следовать, ибо свобода настолько присуща духу, что никакое принуждение здесь недопустимо. Опыт нам показывает, что весьма часто из-за нашей приверженности к чувственным удовольствиям мы становимся чересчур порочными, чтобы прислушаться к этим спасительным побуждениям. Пренебрежение всеми этими средствами, которые должны были бы вести нас к добродетели, делает нас все более и более порочными и тем самым отвращает от единственного пути, ведущего к счастью. Так мы убеждаемся в истинности догм нашей святой религии, которая учит нас, что грех отдаляет людей от Бога и лишает их возможности прийти к подлинному блаженству.

Так как мы твердо убеждены, что все люди преисполнены греха и что обычные побуждения, обусловленные мирскими обстоятельствами, недостаточны, чтобы освободить нас от этих пут, то понадобились исключительные средства, позволившие разорвать цепи, приковывающие нас к греху: это и было осуществлено бесконечным милосердием Бога, который ниспослал нам божественного Спасителя. Для нашего слабого разума это слишком возвышенная тайна; но несмотря на возражения неверующих, опыт нам с очевидностью показывает, что это средство вполне способно привести людей к добродетели. Чтобы убедиться в этом, довольно обратиться к апостолам и к первым христианам.² Их жизнь, их смерть и в особенности их страдания свидетельствуют не только о самой возвышенной добродетели, но также и о самой чистой любви к Богу. Этого одного достаточно для доказательства истинности и божественности нашей христианской религии. Сделать нас поистине счастливыми — цель эта не может происходить от некоего обмана или некоего заблуждения.

24 марта 1761 г.

Письмо 114

*Об истинном блаженстве и об обращении грешников.
Ответ на возражения, которые можно было бы
выдвинуть по этому поводу*

Мое последнее рассуждение об истинно добродетельной жизни апостолов и первых христиан служит, как мне кажется, неопровержимым доказательством божественности христианской религии. И действительно, если истинное блаженство состоит в единении с Всевышним (в этом нельзя усомниться), то наслаждение этим блаженством обязательно требует от нас некоей склонности, основанной на самой совершенной любви к Богу и на глубочайшей любви и

милосердии к ближнему; таким образом все, у кого нет этой склонности, совершенно не способны к восприятию небесного блаженства. Иными словами, порочные люди по своей природе неизбежно будут лишены этого блаженства и самому Богу невозможно сделать их счастливыми. Всемогущество Божье распространяется лишь на то, что по самой своей природе возможно, а свобода настолько присуща духу, что никакое принуждение здесь недопустимо.

Следовательно, лишь посредством побуждений можно вести души к добру. Но можно ли себе представить побуждения к добродетели более сильные, чем те, которые были внушены апостолам и ученикам Иисуса Христа, в беседах их с божественным учителем или при лицезрении явленных нам его страданий, смерти и воскресения, свидетелями которых они были? Все эти удивительные события в сочетании с самым чистым и возвышенным учением должны были возбудить в их сердцах самую пламенную любовь и чувство глубочайшего благоговения к Богу, в котором они видели и почитали как бы своего отца и вместе с тем верховного владыку Вселенной. Эти глубокие впечатления неизбежно должны были заглушить у них в душе всякую порочную склонность и постепенно утвердить их в самой возвышенной добродетели. Это спасительное воздействие на душу апостолов само по себе вовсе не является чудом и никак не посягало на их свободу, хотя сами события были, несомненно, в высшей степени чудесными. Для этого нужно было только иметь восприимчивое сердце, не испорченное пороками и страстями. Таковое было предназначение Иисуса Христа на этой земле, которое зародило в душах апостолов склонность, столь необходимую для достижения высшего счастья. Его миссия еще и поныне побуждает нас стремиться к этой цели. Необходимо только читать внимательно и без предубеждения Св. Писание и размышлять по поводу всех событий.¹

Я останавливаюсь на благотворном воздействии миссии нашего Спасителя, не стараясь проникнуть в тайны искупления, непостижимые для слабых способностей нашего ума. Здесь только нужно отметить, что то спасительное воздействие, в котором нас убеждает опыт, не может быть следствием какой-то иллюзии или людского обмана; воздействие это столь благотворно, что может быть только божественным; оно также полностью соответствует нашим непреложным убеждениям, согласно которым только побудительные мотивы могут управлять духом.

Существовали и есть еще и поныне богословы, утверждающие, что наше обращение к вере свершается только по воле самого Бога² и что мы к этому совершенно непричастны. Они полагают, что довольно веления Бога, чтобы в одно мгновение сделать добродетельным закоренелого злодея. У этих ученых благие намерения, ибо они считают, что таким путем возвышают всемогущество Божие. Но подобное мнение мне кажется несовместным со справедливостью и благостью Бога, даже если бы такому взгляду не противоречило то, что люди свободны. На это вышеупомянутые богословы могут справедливо возразить: «Если одного повеления всемогущего Бога было бы достаточно, чтобы мгновенно обратить всех грешников, то как возможно, чтобы Бог не отдал такого

повеления тотчас же, вместо того чтобы допустить гибель стольких тысяч людей или путем искупления спасти только меньшую часть человечества».

Признаюсь, этот довод представляется мне более убедительным, нежели все те, которые вольнодумцы выдвигают против нашей религии; в основе их лежит незнание истинного предназначения человека. Но, слава Богу, такие возражения не могут быть выдвинуты против системы, которую я имею смелость предложить В. В.

Некоторые богословы, быть может, обвинят меня в ереси и скажут, что человеку, на мой взгляд, достанет собственных сил, чтобы обратиться к вере.³ Но я не боюсь этого упрека, я скорее стремлюсь сделать очевидным божественное соучастие. В деле обращения человек действительно пользуется своей свободой, которая не терпит принуждения, но только побудительные мотивы заставляют человека принимать решение. Побуждения порождаются событиями и обстоятельствами, в которых он находится; обстоятельства же зависят исключительно от Провидения, направляющего все события в этом мире согласно законам высшей премудрости. Именно Бог в каждый момент предоставляет людям обстоятельства, откуда они и черпают самые сильные побудительные мотивы для своего обращения: иными словами, люди всегда обязаны Богу, когда возникают обстоятельства, ведущие их к спасению.

Я уже обращал внимание В. В. на то, что какими бы злыми ни были людские поступки, люди властны над их последствиями; Бог, сотворив мир, предусмотрел ход событий так, что любой человек в каждое мгновение оказывается в самых спасительных для него обстоятельствах, и счастлив тот, кто ими воспользуется. Это убеждение должно оказывать на нас самое благотворное воздействие, вселяя в нас бесконечную любовь к Богу, а также нерушимое доверие к Провидению и самую чистую любовь к ближнему. Представление о Всевышнем, столь же возвышенное, как и утешительное, должно укрепить в нашем сердце самые высокие добродетели и подготовить нас к блаженству вечной жизни.

28 марта 1761 г.

Письмо 115

Об истинном основании всех наших знаний.

О трех источниках истин и трех классах наших знаний, отсюда возникающих

Я взял на себя смелость изложить В. В. свои мысли относительно важнейшего раздела наших знаний, и, надеюсь, этого будет довольно, чтобы рассеять сомнения, которые мучают многих людей, не имеющих правильного понятия о свободе.

Теперь я буду иметь честь познакомить В. В. с истинной основой всех наших знаний,¹ убеждающей нас в достоверности и истинности всего того, что мы знаем. Многого еще недостает, чтобы мы могли положиться на достоверность наших ощущений, и очень часто люди позволяют себя обмануть некоей видимостью, иногда совсем незначительной, а также принимают на веру то, что ложно. И то и другое — опасное заблуждение; разумный человек должен приложить все усилия, чтобы оградить себя от заблуждений, хотя и не всегда ему это удастся.

Все здесь зависит от надежности доказательств, позволяющих нам убедиться в истине. Совершенно необходимо иметь возможность судить, насколько надежны доказательства и достаточны ли они, чтобы нас убедить. В связи с этим я хочу прежде всего отметить, что все истины, доступные нашему знанию, относятся к трем совершенно различным родам: первый род включает истины ощущений, второй — истины разума и третий — истины веры. Каждый из этих родов требует особых доказательств истин, которые в них содержатся, и именно эти три рода являются источником всех наших знаний.

Доказательства истин первого рода сводятся к нашим ощущениям, если можно сказать: «Такой-то объект действительно существует, так как я его видел или меня в этом убедили мои ощущения».

Так, я знаю, что магнит притягивает железо, поскольку я это вижу, и опыт неопровержимо подтверждает то же. Подобные истины называются *чувственными*, они основаны на показаниях наших органов чувств или на опыте. Доказательства истин второго рода содержатся в умозаключении, когда можно сказать: «Данный объект существует, так как я могу это доказать путем правильного умозаключения, т. е. посредством силлогизмов, построенных по всем правилам». Именно с доказательствами этого рода связана логика, которая учит нас правильно рассуждать. Так, мы знаем, что три угла треугольника в сумме равны двум прямым углам. В этом случае я не могу сказать, что я это вижу или что меня убедили в этом мои чувства; здесь рассуждение приводит меня к истине. Подобные истины называются *интеллектуальными*, и именно к ним следует отнести математические истины и истины других наук, ибо мы в состоянии обосновать их посредством доказательств.

В. В. должно быть понятно, что этого рода истины коренным образом отличаются от истин первого рода, когда единственными доказательствами служат ощущения или опыт, убеждающие нас в том, что объект именно таков, хотя причина этого нам неизвестна. В случае с магнитом, например, мы не знаем, почему притяжение железа является необходимым следствием природных свойств как магнита, так и железа, и тем не менее мы убеждены в достоверности факта. Истины первого рода столь же достоверны, как и истины второго, хотя доказательства, которыми мы располагаем в том и в другом случае, совершенно различны.

Перехожу теперь к истинам третьего рода, а именно, к истинам веры. Мы в них верим, ибо нам их сообщили люди, достойные доверия, если можно

сказать: «Данная вещь истинна, так как один или несколько человек, достойные доверия, нас в этом убедили». К этому роду относятся, следовательно, все *исторические истины*. В. В., без сомнения, верит, что некогда был царь македонский, прозванный Александром Великим, который стал владыкой Персидского царства. Однако В. В. его не видели и не можете математически доказать, что такой человек существовал на Земле. Мы верим в это на основании свидетельств авторов, написавших его историю, и не сомневаемся в их правдивости. Но не могли ли все эти авторы составить заговор с целью нас обмануть?² Мы с полным основанием можем пренебречь этим возражением, так как убеждены в достоверности сообщенных ими фактов, во всяком случае в большинстве их, так же как и в достоверности истин этих трех родов — как бы они ни были различны, но, обоснованные каждая соответственно своему роду, они в равной мере будут для нас убедительны.

В. В. не сомневается, что русские и австрийцы были в Берлине, хотя видеть их там В. В. не довелось, следовательно, для В. В. это — истина третьего рода, поскольку В. В. в это верит на основании сообщений других людей. Но для меня это — истина первого рода, ибо я их видел и с ними говорил,³ и много других людей также узнало об их присутствии через посредство тех или иных ощущений. И несмотря на это, В. В., так же как и все мы, твердо убеждены в достоверности этого факта.

31 марта 1761 г.

Письмо 116

На ту же тему и в особенности о заблуждениях при познании истины

Перечисленные мною три рода истин являются источниками всех наших знаний, притом единственными. Все, что мы знаем, стало нам известно по собственному опыту, или путем рассуждения, или из сообщений других людей.

Трудно сказать, какой из этих источников более всего способствует обогащению наших знаний. Что же касается Адама и Евы, то они, по-видимому, черпали свои познания только из первых двух источников. Однако Бог открыл им множество вещей, знание которых должно быть отнесено к третьему источнику, ибо ни собственный опыт, ни рассуждение не могли их к этому привести. А затем вмешался дьявол, который внушил Еве новые представления, Адам же доверился Еве.

Не будем, впрочем, останавливаться на столь отдаленных временах. Мы твердо убеждены: если не верить ничему из того, что говорят нам другие или что мы находим в их писаниях, то мы окажемся в весьма плачевном положении. Однако это не значит, что следует поверить всему, что нам говорят или что

мы читаем. Во всех случаях необходимо точно различать истины, и не только относящиеся к третьему источнику, но также и к двум другим.

Мы склонны настолько поддаваться обману чувств и ошибаться в суждениях, что те же источники, которые нам открыл Создатель, чтобы привести нас к истине, зачастую ввергают нас в заблуждение. Поэтому мы и не вправе ставить это в упрек третьему источнику в большей степени, чем двум другим. Во всех случаях следует быть начеку. Можно найти множество примеров, когда люди впадали в заблуждение, черпая знания не в третьем, а именно в первом и во втором источниках. То же можно сказать и о надежности знаний, полученных из этих трех источников; нельзя сказать, что истины, принадлежащие к какому-то одному роду, более обоснованны, чем истины другого. Каждому источнику знаний свойственны заблуждения, которые могут нас обмануть, однако если принять соответствующие предосторожности, то во всех случаях возможно достичь одинаковой степени уверенности. Я не знаю, убеждены ли В. В. более твердо в том, что два треугольника с одним основанием и с одной высотой равны между собой,¹ чем в том, что русские находились в Берлине; между тем первая истина основана на правильном рассуждении, а другая имеет своим единственным источником правдивость наших показаний.

Итак, для каждой из трех родов истин следует довольствоваться доказательствами, соответствующими их особенностям. Было бы нелепо требовать математического доказательства для истин, основанных на опыте, или для истин исторических. Этот недостаток обычно присущ вольнодумцам и тем, кто злоупотребляет поисками интеллектуальных истин; так, они считают возможным прибегнуть к математическим доказательствам для проверки религиозных истин,² относящихся в большинстве своем к третьему классу.

Есть также люди, которые верят только тому и признают только то, что они видят своими глазами или трогают руками: все, что им доказывают посредством самых основательных рассуждений, всегда кажется им подозрительным, если только нет возможности воочию в этом убедиться. Подобный недостаток встречается обычно у химиков, анатомов и физиков, занимающихся только опытами. То, что одни из них не могут расплавить в своем тигле, а другие рассечь своим скальпелем, не производит никакого впечатления на их умы. Что бы им ни говорили о свойствах и о природе души, они не признают ничего, кроме того, что воздействует на их органы чувств.³ Род занятий, избранный каждым человеком, так влияет на его образ мыслей, что экспериментатор полагается только на опыты, а мыслитель только на умозаключения; доказательства, однако, совершенно различны в этих двух случаях, ибо одни относятся к первой категории, а другие — ко второй; здесь необходимо проводить строгое различие соответственно характеру объектов нашего познания.

Но возможно ли, чтобы люди, которые черпают свои знания исключительно из третьего источника, полагались бы на доказательства, относящиеся только к этой категории? Действительно, мне приходилось встречать таких людей:

полностью погруженные в изучение древности и истории, они не допускают ничего, что не подтверждалось бы историческими фактами или авторитетом какого-нибудь древнего автора. Они, например, признают достоверность положений Евклида,⁴ но только полагаясь на авторитет этого автора и не вникая в его доказательства. Приди древним геометрам в голову отстаивать противоположные выводы, эти люди и их приняли бы за верные.⁵

Таковы три вида заблуждений, которые препятствуют многим познавать истины; мы встречаем их скорее среди ученых, чем среди людей, начинающих приобщаться к наукам. Подобаает относиться беспристрастно к трем видам доказательств, требуемым каждым родом истины: если только эти доказательства убедительны, следует их принять. «Я это видел или чувствовал» — доказательство первого рода. «Я могу это доказать» — доказательство второго рода; здесь можно также сказать: «Эти вещи мне известны». И наконец: «Я знаю это по свидетельству лиц, достойных доверия» или «У меня есть серьезные соображения, чтобы этому верить» — вот доказательство третьего рода.

4 апреля 1761 г.

Письмо 117

*О первом классе наших знаний
и особенно об убеждении, что вне нас
реально существуют объекты,
соответствующие представлениям,
которые мы получаем от органов чувств.*

*Возражение пирронистов против этого убеждения
и ответ на это возражение*

К первому виду наших знаний относятся те, которые мы получаем посредством наших органов чувств. Как я уже указывал, органы чувств не только передают нашей душе определенные представления, вызванные изменениями в некоей части головного мозга, но также порождают в душе убеждение, что вне нас действительно имеются реальные объекты, соответствующие тем представлениям, которые внушают нам органы чувств.

Душу обычно сравнивают с человеком, заключенным в камере-обскуре; там изображения внешних объектов воспроизводятся на стене посредством специальной линзы.* Такое сравнение до известной степени правильно, ибо этот человек, внимательно рассматривающий изображения на стене, уподобляется

* См. письма 194 и 195.

нашей душе, когда она созерцает впечатления, воспринятые мозгом. Но это сравнение, на мой взгляд, страдает серьезным недостатком: оно упускает из виду убеждение в реальности существования тех объектов, которые вызвали эти образы. Человек, находящийся в камере-обскуре, действительно может предположить существование этих объектов; если он в этом не сомневается, то лишь потому, что ранее, находясь вне камеры, видел эти объекты. Кроме того, зная свойства используемой им линзы, он убежден, что на стене могут возникнуть изображения только тех объектов, которые действительно находятся вне камеры, перед линзой.

С душой, однако, дело обстоит иначе: душа никогда не пребывала вне своей обители. И не видела самые объекты, и еще менее она знакома со строением органов чувств и нервов, ведущих к мозгу. И, несмотря на это, душа убеждена в реальности существования объектов, и это убеждение будет значительно более твердым, чем у человека, находящегося в камере. Я не предвижу здесь никаких возражений, ибо все мне кажется предельно ясным, хотя нам и неизвестна истинная причина этого явления. Никто никогда в этом не сомневался, за исключением некоторых духовидцев, находящихся в плену галлюцинаций. Хотя они и говорили, что сомневаются в реальности предметов внешнего мира, на самом деле это не так: к чему им пужно было бы это говорить, если бы они не верили в существование других людей, которым они хотят внушить свои более чем странные представления?

Убежденность в существовании предметов, образы которых дают нам чувства, присуща не только всем людям любого возраста и сословия, но также и всем животным. Собака, которая лает на меня, не сомневается в моем существовании, хотя душа ее постигает лишь неясное изображение моего тела. Отсюда я заключаю, что эта убежденность теснейшим образом связана с нашими ощущениями и что истины, познаваемые нами посредством чувств, столь же непреложны, как и самые что ни на есть обоснованные математические истины. Без этого убеждения какое человеческое общество не могло бы существовать, и все мы в течение нашей жизни впадали бы в величайшие заблуждения и противоречия.¹

Если бы крестьянам вздумалось усомниться в существовании их бабьих, а солдатам — в существовании их офицеров, к какому беспорядку это бы привело! Подобные нелепые выдумки встречаются только среди философов, у всякого другого это свидетельствовало бы об отсутствии здравого смысла. Признаем же, что вышеуказанная убежденность является одним из основных законов природы; мы твердо уверены в ее справедливости, хотя и не знаем истинных причин и не в состоянии объяснить их надлежащим образом.

Каким бы важным ни было это соображение, оно тем не менее сопряжено с некоторыми трудностями. Однако сколь бы велики ни были эти трудности, даже если мы не сумеем их преодолеть, истина, только что мною обоснованная, от этого нисколько не пострадает, и мы должны ее признать самой надежной основой наших познаний.

Приходится согласиться с тем, что наши чувства иногда нас обманывают; на этом основании хитроумные философы, которые похваляются тем, что сомневаются во всем, делают вывод, что мы никогда не можем доверяться нашим чувствам. Мне не раз приходилось встречать на улице неизвестного мне человека, которого я принимал за кого-то из своих знакомых: итак, поскольку я раз ошибся, вполне допустимо, что я ошибаюсь всегда, и, следовательно, никогда не могу быть уверен, что мой собеседник действительно тот, кого я имею в виду.

Если бы я приехал в Магдебург и имел честь припасть к стопам В. В., я должен был бы опасаться, что впал в грубейшую ошибку. Может быть, я оказался бы не в Магдебурге, ибо нередки случаи, когда один город принимают за другой, может быть, даже никогда бы не имел счастья видеть В. В. и всегда обманывался, почитая себя столь очастливленным.

Таковы последствия, естественно вытекающие из утверждения этих философов. В. В. может легко понять, что они не только ведут к величайшим нелепостям, но также нарушили бы все общественные связи. Однако именно из этого источника вольнодумцы черпают свои возражения против религии. Большинство этих возражений сводится к следующему остроумному суждению: известны случаи, когда кто-то ошибся, приняв одного человека за другого; следовательно, апостолы также ошибались, когда они говорили, что видели Иисуса Христа после его воскресения. В любом случае такое ложное направление ума подняли бы на смех; но когда речь идет о религии, эти философы находят слишком много сторонников.

7 апреля 1761 г.

Письмо 118

Другое возражение пирронистов против достоверности истин, познаваемых с помощью органов чувств.

Ответ на это возражение и о предосторожностях, которые следует соблюдать, чтобы убедиться в правдивости органов чувств

Хотя возражение против достоверности чувственных истин (о чем я говорил ранее) представляется довольно убедительным, однако те, кто выдвигает это возражение, стараются еще подкрепить его обычным житейским правилом: не следует доверять тому, кто хоть раз вас обманул. Таким образом, только один случай, когда ощущения обманули, считается достаточным, чтобы совершенно отказать им в достоверности.

В. В. не может не согласиться с тем, что, если это возражение было бы справедливым, все человеческое общество оказалось бы разрушенным до основания.

Чтобы опровергнуть это возражение, я хочу отметить следующее: прибегая к двум другим источникам знаний, мы сталкиваемся с такими же, а подчас и с большими затруднениями. Сколько раз нам приходилось ошибаться в умозаключениях? Я даже осмелюсь утверждать, что рассуждение вводит в обман значительно чаще, чем ощущения. Но следует ли из этого, что рассуждение обманывает нас всегда и что мы не можем быть уверенными ни в одной истине, добытой рассудочным путем? Следовательно, приходится сомневаться, что дважды два — четыре или что три угла треугольника в сумме равны двум прямым углам; было бы даже нелепо выдавать это за истину. Однако, хотя люди часто ошибаются в своих рассуждениях, это не препятствует существованию множества интеллектуальных истин, в которых мы абсолютно уверены. То же самое можно сказать и о третьем источнике наших знаний, который, без сомнения, ведет к наибольшему числу ошибок. Сколько раз нас обманывали ложные слухи или ложное сообщение о каком-нибудь событии? И кто стал бы верить всему тому, что пишут газетчики или историки? Однако тот, кто заявляет, что все сообщенное или рассказываемое другими — ложно, заблуждается еще больше, нежели тот, кто будет верить всему. Таким образом, несмотря на все ложные сообщения и ложные свидетельства, мы уверены в истинности множества фактов, хотя они стали нам известны только благодаря сообщениям, полученным от других людей.

Существуют некоторые характерные признаки, позволяющие нам распознать истину, и они присущи каждому из трех источников знаний. Если из-за обмана зрения я принял одного человека за другого, то тотчас же смогу убедиться в своей ошибке. Отсюда явствует, что в действительности существуют особые способы предотвратить ошибку. Ибо если бы их не было, то нам никогда бы не удавалось заметить свою ошибку. Следовательно, те, кто утверждает, что мы постоянно ошибаемся, вынуждены признать нашу неспособность обнаружить ошибку, либо им следует признать, что ошибаются они сами, ставя нам в упрек наши заблуждения. Замечательно, что истина столь твердо установлена, что и те, кто испытывает непреодолимое желание сомневаться во всем, волей-неволей должны к ней прийти. Подобно тому как логика предписывает правила рассуждения, оберегающие нас от ошибок в отношении интеллектуальных истин, существуют столь же неоспоримые правила как для первого источника — чувственных истин, так и для третьего источника — истин веры.

Правила, относящиеся к первому источнику, для нас естественны настолько, что все люди, не исключая даже самых тупых, понимают их и применяют на практике, причем делают это лучше, чем сумели бы их описать учейшие люди. Хотя и нетрудно ввести иногда в заблуждение крестьянина, тем не менее, когда град уничтожил его посевы или когда молния ударила в его гумно, самый искусный философ не сумеет его убедить в том, что то была всего лишь иллюзия; всякий здравомыслящий человек знает, что крестьянин прав и что он не всегда поддается обману чувств. Философ, вероятно, может смутить крестья-

янина настолько, что тот не будет в состоянии ему ответить, но в глубине души он посмеется над всеми его рассуждениями. Довод, что чувства нас иногда обманывают, произведет весьма слабое впечатление на ум крестьянина, и если начнут ему доказывать со всей силой красноречия, что все представляемое нашими органами чувств столь же нереально, как и наши сновидения, то это вызовет у него только смех. Но если крестьянин в свою очередь захочет стать философом и утверждать, что баллы не более как призрак и что безумцы те, кто видит в нем реального человека и подчиняется ему, то вся эта возвышенная философия тотчас пойдет прахом; главе философской секты придется почувствовать на себе силу доказательств, посредством которых баллы убедит его в реальности своего существования.

Итак, это должно убедить В. В. в том, что в сфере ощущений существуют определенные признаки, которые не оставляют нам ни малейшего сомнения в реальности и истинности того, что мы познаем посредством органов чувств; эти особенности столь хорошо известны и так глубоко запечатлелись в нашей душе, что мы никогда не ошибаемся, если принимаем необходимые предосторожности. Однако трудно перечислить эти признаки и объяснить их природу. Обычно говорят, что органы чувств должны находиться в надлежащем состоянии; воздух должен быть прозрачным и не затуманен, необходимо проявить должное внимание к объекту и в особенности постараться изучить один и тот же объект одновременно с помощью двух или нескольких органов чувств. Но мне кажется, что каждый человек в действительности следует правилам более надежным, нежели те, которые могут ему предписать.

11 апреля 1761 г.

Письмо 119

О достоверности демонстративной, физической и в особенности о достоверности моральной

Итак, существуют три источника, откуда мы черпаем все наши знания; следует рассматривать все три как равно достоверные, если только принять необходимые предосторожности, избавляющие нас от ошибок.

Отсюда проистекают три рода достоверности. То, что относится к первому источнику, называется *чувственной достоверностью*. Когда я убежден в истинности чего-либо потому, что я сам это видел, для меня это чувственная достоверность; и если меня спросят, на чем основана моя уверенность, я отвечу, что в этом убеждают меня мои собственные чувства и что я являюсь или являлся сам свидетелем данного факта. Так, например, я знаю, что австрийцы были в Берлине и что многие из них творили там бесчинства; я знаю также, что огонь сжигает все горючие материалы, так как я сам это видел, и для меня это явление — физически достоверно.

Достоверность знаний, обретенных нами путем рассуждения, называется *логической*, или *доказательной*, *достоверностью*, ибо мы убеждаемся в ее истинности посредством доказательств. Примером могут служить математические истины: логическая достоверность убеждает нас в их справедливости. Наконец, наша уверенность в истинности тех фактов, которые стали нам известны из сообщения других людей, называется *моральной достоверностью*, ибо в основе ее лежит доверие, которого заслуживают люди, о них сообщившие. Так, например, для В. В. морально достоверным является пребывание русских в Берлине.¹ То же можно сказать и о всех фактах, с которыми нас знакомит история. Мы знаем — в силу моральной достоверности, — что некогда были в Риме Юлий Цезарь, Август, Нерон и т. д. Свидетельства здесь настолько достоверны, что в их истинности мы убеждены не менее, чем в истинности познания, обретенного посредством чувств или рассуждения.

Не следует, однако, смешивать эти три рода достоверности — чувственную, логическую и моральную, — ибо каждая из них обладает совершенно особой природой. Я намерен познакомить В. В. со всеми тремя разновидностями достоверности отдельно, но сначала остановлюсь более подробно на достоверности третьего рода, т. е. моральной.

Здесь уместно отметить, что третий источник наших знаний может быть двух видов — в зависимости от того, рассказывают ли нам другие люди просто то, что они видели или испытали сами, или же они делятся своими соображениями и размышлениями. К этим двум видам можно было бы добавить еще третий, а именно, когда нам сообщают узнанное от третьих лиц. Что касается сообщений этого последнего вида, здесь, по общему мнению, заблуждение наиболее возможно; следует верить свидетелю лишь в том, что он видел или пережил сам. Именно поэтому в суде, когда допрашивают свидетелей, весьма тщательно разграничивают в их показаниях то, что они видели или испытали сами, и то, что привнесено ими от собственных размышлений или умозаключений. Судьи останавливаются только на том, что свидетели видели и испытали сами, и категорически отвергают их домыслы или выводимые ими умозаключения, сколь бы они ни были порой обоснованны. Того же правила придерживаются и в отношении историков: мы хотим, чтобы они рассказывали нам только то, чему они сами были свидетелями, а размышления, которые они к этому добавляют, интересуют нас меньше, хотя они весьма украшают историческое повествование. Именно поэтому истинность того, что другие испытали сами посредством своих чувств, вызывает большее доверие, чем то, к чему они пришли путем размышлений. Каждый хочет быть господином своего мнения, и убежденность не может возникнуть, если человек сам не признал достоверности основания и доказательств. Как бы прекрасны ни были геометрические истины, провозглашенные Евклидом, мы никогда не поверили бы ему на слово, желая сами проверить ход доказательств. Если я скажу В. В., что видел ту или другую вещь, то В. В. без всякого труда мне поверит, предполагая, что я говорю правду, и я даже рассердился бы, если меня заподозрили

бы во лжи. Но когда я имею честь сообщить В. В., что в прямоугольном треугольнике квадраты двух катетов равны квадрату гипотенузы, то я вовсе не хочу, чтобы В. В. поверили мне на слово, хотя сам я абсолютно в этом уверен; и я мог бы сослаться на авторитет крупных ученых, которые также были в этом убеждены. Мне бы даже хотелось, чтобы В. В. усомнились в моем утверждении и отказались бы этому верить, пока не убедились бы сами в правдивости рассуждений, лежащих в основе доказательства.

Однако из этого не следует, что достоверность физическая или чувственная превосходит логическую, основанную на рассуждении, но, когда мы встречаемся с истиной такого рода, следует напрячь свой ум и исследовать доказательство. Это — наилучший способ довести науки до высшей степени совершенства.²

Чувственные и исторические истины обогащают наши знания, но умственные способности развиваются только благодаря размышлению и рассуждению. Мы никогда не ограничиваемся представлениями, которые вызывают у нас чувства или сообщения других людей; мы всегда дополняем их собственными размышлениями, мысленно, незаметно для себя, обосновываем их причинами и побуждениями, делаем на их основе заключения. По этой причине в суде крайне трудно добиться четких и ясных показаний, содержащих только то, что свидетели действительно видели или испытали, ибо они постоянно добавляют к этому свои собственные соображения, сами того не замечая.

14 апреля 1761 г.

Письмо 120

Замечания о том, что органы чувств способствуют увеличению наших знаний, и о предосторожностях, которые следует соблюдать, чтобы убедиться в достоверности исторических истин

Познания, приобретаемые нами посредством органов чувств, являются, без сомнения, нашими первичными знаниями; на их основе душа развивает затем мысли и соображения, которые в свою очередь позволяют ей раскрыть множество других интеллектуальных истин. Чтобы лучше можно было понять, как ощущения способствуют обогащению наших знаний, я хочу прежде всего отметить, что в сферу ощущений входят лишь индивидуальные объекты, реально существующие в определенных и всесторонне ограниченных условиях. Представим себе человека, внезапно появившегося в нашем мире и не имеющего еще никакого опыта. Если дать ему в руку камень и если затем он его отпустит, то увидит, что камень упадет на землю. Это — всесторонне ограниченный опыт, который не может его научить ничему, разве только тому,

что камень, находящийся, скажем, в левой руке, если его отпустить, падает вниз. Он не может знать, получится ли тот же результат, если он возьмет другой камень или тот же самый камень, но в правую руку. К тому же он еще не уверен, что этот камень при тех же обстоятельствах упадет еще раз или не упал бы, если он взял бы его в руку час тому назад. Во всяком случае такой единичный опыт никак ему этого не подскажет. Тот же человек берет затем другой камень и видит, что камень падает независимо от того, отпускает ли он его из левой или из правой руки: он повторяет опыт с третьим и с четвертым камнем и наблюдает постоянно тот же результат. Отсюда он заключает, что все камни обладают этим свойством, т. е. падают вниз, если их отпустить, иными словами, лишиться опоры.

Таково познание, которое упомянутый человек извлекает из своего опыта. Это не значит, что он должен повторить опыт со всеми камнями; даже сделай он это, появится ли у него уверенность, что то же самое произойдет в любое другое время? Он может судить только об отдельных моментах, когда проводится каждый опыт; а что докажет ему, что другие люди получают подобный же результат? Не подумает ли он, что только его руки способны заставить камень упасть вниз? В связи с этим может возникнуть еще множество других сомнений.

Я, например, не производил никогда опытов с камнями кафедрального собора в Магдебурге, однако не сомневаюсь, что они все, без исключения, имеют вес и что каждый из них упадет, если только отделить его от других. Я даже думаю, что почерпнул это знание из опыта, хотя мне никогда не приходилось иметь дело с упомянутыми камнями. Этого примера достаточно, чтобы дать понять В. В., как опыты, хотя они и проводятся только с индивидуальными объектами, позволяют людям приобрести знания всеобщего характера; но приходится согласиться с тем, что наше понимание и другие способности души принимают в этом участие непостижимым для нас образом; и даже если бы мы захотели чересчур придирчиво исследовать все обстоятельства, это никак не обогатило бы наших знаний и нам пришлось бы на каждом шагу наталкиваться на препятствия.

В связи с этим следует признать, что простой народ обладает большим здравым смыслом,¹ чем эти мелочные философы педанты, упорно сомневающиеся во всем. Но нужно также остерегаться, чтобы не впасть в другую крайность, т. е. пренебречь необходимыми предосторожностями. Каждый из трех источников знаний требует своих мер предосторожности, которые надо точно соблюдать, чтобы быть уверенным в истине; но в каждом случае можно зайти слишком далеко, и поэтому необходимо всегда придерживаться некоей середины.

Третий источник знаний это доказывает с полной очевидностью. Было бы, без сомнения, безумием верить всему, что нам рассказывают другие; но, с другой стороны, чрезмерное недоверие не менее предвзвешенно. Тот, кто пожелает усомниться во всем, всегда найдет для этого предлог: когда человек

говорит или пишет, что он был свидетелем того или иного события, то прежде всего можно сказать, что все это неправда и что этот человек хочет нас обмануть. Даже если его правдивость не вызывает сомнений, можно сказать, что он недостаточно хорошо смотрел или был ослеплен видимостью; всегда найдутся примеры того, как кто-то был введен в заблуждение, вообразив, что он что-то видел. Правила, предписываемые в этих случаях, теряют всякий смысл, если мы имеем дело с клеветником.

Обычно, чтобы правдивость рассказа или истории не вызвала сомнений, требуют, чтобы рассказчик сам был свидетелем произошедшего, не заинтересованным в том, чтобы рассказать иначе, чем это было на самом деле. Далее, если двое или несколько человек рассказывают об одном и том же, отмечая одни и те же подробности, то это серьезный довод в пользу правдивости рассказа. Однако слишком большая согласованность, вплоть до мелочей, вызывает иногда подозрение. Ибо два человека, наблюдающие одно и то же событие, смотрят на него с различных точек зрения, и один заметит всегда какие-то мелкие подробности, которые ускользнут от внимания другого. Поэтому незначительное расхождение в двух сообщениях об одном и том же событии скорее доказывает, а не подрывает их достоверность. Всегда чрезвычайно трудно рассуждать относительно первичных основ наших знаний и стараться объяснить механизм и побудительные причины душевной деятельности. Было бы очень хорошо, если бы мы могли в этом преуспеть, ибо это позволило бы нам выяснить множество важных моментов, касающихся природы и деятельности нашей души. Но, по-видимому, мы предназначены скорее для того, чтобы применять наши мыслительные способности, чем углубляться в изучение того, что ими движет.

18 апреля 1761 г.

Письмо 121

О вопросе, известна ли нам сущность тел или нет?

После стольких рассуждений о природе и способностях нашей души, В. В., возможно, обрадуется, если мы вернемся к рассмотрению тел; об их основных свойствах я уже имел честь сообщить В. В.

Я отмечал, что телам необходимо присущи три свойства, а именно *протяженность, непроницаемость и инерция*. Таким образом, то, что не обладает этими тремя свойствами в совокупности, не может быть отнесено к разряду тел; и наоборот, при наличии всех этих трех свойств никто не усомнится в том, что перед нами — тело.

Итак, есть основания считать, что вышеупомянутые три свойства составляют сущность тела, хотя многие философы и утверждают, что сущность тела нам совершенно неизвестна. Таково мнение не только скептиков и пирронис-

тов, сомневающих во всем, но и сторонников других учений, утверждающих, что сущность всех вещей для нас совершенно непознаваема. Следует признать, что в некотором отношении они правы. Их мнение вполне справедливо, если отнестись его ко всем реально существующим индивидуальным субстанциям.

В. В. сочтет крайне нелепым, если я начну утверждать, что знаю сущность хотя бы того пера, которым я пользуюсь сейчас, чтобы написать это письмо. Если сущность этого пера была бы мне в точности известна (я говорю не обо всех перьях вообще, а только о том пере, которое сейчас держу в руке, т. е. о единичном предмете, согласно определению, принятому в метафизике, отличающемся от всех других перьев, существующих в мире); итак, если сущность этого единичного пера была бы мне известна, я мог бы отличить его от всех других, и было бы невозможно заменить его другим так, чтобы я этого не заметил: я должен был бы знать совершенно точно свойства, число и устройство всех его составных частей. Но как мне далеко до обладания подобным знанием! Если я поднимусь на минуту с моего места, мои дети смогут незаметно для меня заменить это перо другим; и даже если я сделал бы на моем пере отметку, разве они не смогли бы ее подделать на другом пере? Допустим, что мои дети не в состоянии этого сделать; но следует признать, что Бог мог бы сотворить другое перо, настолько похожее на мое, что я никогда не уловил бы различия. Но это было бы уже другое перо, отличное от моего, и только Богу было бы известно, к чему сводится это различие. Иными словами, Богу известна сущность того и другого пера: что же до меня, то, поскольку я не вижу в них никакого различия, нет сомнения, что сущность этого единичного пера мне совершенно неизвестна.

Так же обстоит дело и со всеми другими единичными объектами; можно смело утверждать, что только Богу известна сущность или природа каждого из них. В. В. не сумеет указать какую-либо реально существующую вещь, которую мы смогли бы познать в совершенстве — так, чтобы никогда не ошибиться; это, если можно так выразиться, своего рода отпечаток, который Создатель наложил на все сотворенное им, и природа вещей всегда останется для нас тайной.

Итак, не подлежит сомнению, что мы не можем познать сущность единичных объектов или все характерные признаки, отличающие один объект от другого. Однако то же самое нельзя сказать о виде и роде, которые являются общими понятиями, охватывающими бесконечное число единичных объектов. Вид и род — это не действительно существующие субстанции, а лишь понятия, которые мы сами мысленно создаем, когда относим множество единичных объектов к определенному классу; мы именуем его родом или видом в зависимости от того, включает ли оно в себя большее или меньшее число единичных вещей.

Вернемся теперь к примеру с пером. Поскольку есть бесконечное множество предметов, называемых мною одним и тем же словом «перо», хотя они все и отличаются друг от друга, то, следовательно, понятие «перо» является

общим понятием, самими нами придуманным и существующим только в нашем уме. В это понятие входят лишь общие признаки, и они составляют сущность общего понятия пера.

Нам должна быть хорошо известна эта сущность, ибо мы в состоянии отличить предметы, называемые нами перьями, от всех других предметов, не входящих в это понятие, называемых нами иначе. Как только мы замечаем в каком-либо предмете определенные признаки или свойства, мы говорим, что этот предмет — перо, и мы в состоянии отличить его от всех других предметов, не являющихся перьями, но не можем отличить его от всех других перьев.

Чем более общим является понятие и чем меньше характерных особенностей составляют его сущность, тем легче эту сущность распознать. Нам значительно легче понять, что такое дерево вообще, чем отличить вишневое дерево, грушевое дерево, яблоню и другие виды деревьев. Когда я говорю, что некий объект, который я вижу в саду, — дерево, я не ошибусь, но я вполне могу ошибиться, если скажу, что это — вишневое дерево. Следовательно, я лучше знаю сущность дерева вообще, чем виды: я не приму дерево за камень с такой же легкостью, как вишневое дерево за сливовое. Самое общее понятие бесконечно шире, и поэтому его сущность включает только признаки, общие для всех субстанций, именуемых телами. Она сводится, следовательно, к крайне малому числу свойств, поскольку из нее следует исключить все признаки, отличающие одно тело от другого.

Итак, весьма нелепо было бы утверждать, подобно некоторым философам, что сущность тел вообще нам неизвестна. Если бы это было так, мы не были бы в состоянии с уверенностью сказать, что такой-то предмет является или не является телом; и поскольку мы не можем здесь ошибиться, то, следовательно, мы достаточно хорошо знаем природу или сущность тел вообще. Нам известно, что эта сущность сводится к протяженности, непроницаемости и инерции.

21 апреля 1761 г.

Письмо 122

Об истинном понятии протяженности

Я уже имел честь доказать В. В., что в общее понятие тела необходимо входят следующие три свойства: протяженность, непроницаемость и инерция. Без этих свойств ничто сущее не может быть отнесено к разряду тел. Даже самые упрямые ученые не могут не согласиться, что эти три свойства необходимы, чтобы образовать тело; но они сомневаются в том, что этих свойств достаточно. Может быть, говорят они, имеется еще много других свойств, равным образом необходимых для телесной сущности.

Мне хочется, однако, задать им вопрос: если бы Бог создал нечто, лишенное этих иных неведомых нам свойств и обладающее только тремя упомянутыми мною свойствами, разве они усомнились бы в том, что это тело? Конечно, нет, ибо если бы у них возникло малейшее сомнение на этот счет, они не смогли бы с уверенностью назвать телами камни, лежащие на улице, поскольку они не убеждены, обладают или нет эти камни предполагаемыми неизвестными свойствами?

По мнению некоторых, тяжесть также является основным свойством тел, поскольку все известные нам тела обладают весом. Однако если бы Бог лишил их этого свойства, разве от этого они перестали бы быть телами? Пусть сторонники такого мнения обратят внимание на небесные тела: они не падают вниз, хотя это должно было бы произойти, будь у них вес, как у земных тел,¹ которых мы можем коснуться; тем не менее они без колебаний называют небесные светила телами. И если даже все тела имели бы вес, из этого вовсе не следует, что вес — основное их свойство, ибо тело остается телом и в том случае, если некое чудо сделает его невесомым.

Подобное рассуждение неприменимо к трем основным свойствам, которые я указал. Если Бог уничтожил бы протяженность тела, последнее, без сомнения, перестало бы быть телом; тело, лишенное непроницаемости, уже не может быть названо телом, это будет привидение, призрак; то же можно сказать и об инерции.

В. В. известно, что протяженность является предметом изучения геометрии, которая рассматривает только протяженные тела, абстрагируясь от непроницаемости и инерции. Следовательно, геометрия имеет своим предметом понятия более общие, чем понятие тела, поскольку оно должно включать в себя не только тела, но и все сущности, не обладающие ничем, кроме протяженности, и лишенные непроницаемости, если бы таковые существовали. Отсюда следует, что все свойства, выведенные геометрией из понятия протяженности, приложимы и к телам, поскольку все они — протяженны. Ибо все, что относится к более общему понятию, например к понятию дерева, должно относиться также и к понятию вишневого дерева, грушевого дерева, яблони и т. д. Этот принцип лежит в основе всех наших суждений, которые позволяют нам всегда утверждать или отрицать относительно вида и индивидуального предмета все то, что утверждается или отрицается применительно к роду. Есть, однако, философы (и даже большинство наших современников),² которые решительно отрицают возможность приписывать действительно существующим телам свойства, присущие протяженности вообще, т. е. те, что рассматриваются геометрией. По их мнению, протяженность в геометрии — это абстрактная сущность, из свойств которой нельзя сделать никаких заключений относительно реальных вещей. Так, если я доказал, что три угла треугольника в сумме равны двум прямым углам, то это — свойство, присущее только абстрактному треугольнику, и ни в коем случае не реальному треугольнику.

Эти философы, однако, не замечают тех неприятных последствий, которые естественно вытекают из проводимого ими различия между объектами, созданными путем абстракции, и объектами реальными. Если бы считалось недопустимым заключения, сделанные относительно первых, прилагать к последним, то никакое заключение и никакое суждение не были бы возможны, ибо в наших выводах мы всегда переходим от общих понятий к частным.

Все общие понятия — такие же абстрактные сущности, как и протяженность в геометрии, и дерево вообще, т. е. общее понятие о деревьях, образованное путем абстракции, так же не существует вне нашего мышления, как и геометрическая протяженность. То же можно сказать и об общем понятии человека, ибо человек вообще не существует нигде: все люди, живущие на Земле, — индивидуальные существа и соответствуют индивидуальным понятиям: общее понятие, включающее всех людей, образовано путем абстракции.

Упрек, который философы постоянно адресуют геометрам, утверждая, что эти последние занимаются только абстрактными вещами, совершенно неоснователен, ибо все другие науки также имеют дело главным образом с общими понятиями, не более реальными, чем предмет геометрии. Ведь и больной вообще, поскольку врач включает в это понятие всех реально существующих больных, тоже не более чем абстракция. Можно даже сказать, что достоинство каждой науки тем более велико, чем на более общие, т. е. на более абстрактные, понятия она распространяется.³

В следующем письме я буду иметь честь указать В. В., к чему приводят упреки философов в адрес геометров и на каком основании они не хотят допустить, чтобы реальным протяженным вещам, т. е. существующим телам, приписывали свойства, относящиеся к протяженности вообще или к абстрактной протяженности. Они боятся, что это нанесет ущерб принципам их метафизической системы.

25 апреля 1761 г.

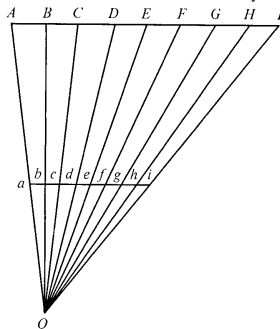
Письмо 123

О делимости протяженности до бесконечности

Спор между современными философами и геометрами, о котором я уже имел честь говорить В. В., касается делимости тел. Это свойство без сомнения связано с протяженностью, ибо тела делимы лишь постольку, поскольку они обладают протяженностью, и в этом случае их можно делить на части.

В. В. вспомнит, что в геометрии всегда можно разделить отрезок, как бы он ни был мал, на две равные части. Геометрия также учит нас, как надлежит делить малый отрезок, например ai , на любое число равных частей; способ такого деления показан там настолько наглядно, что не приходится сомневаться в его применимости.

Для этого требуется провести параллельно линии ai линию AI любой длины и на каком угодно расстоянии, далее разделить эту линию на равные части AB, BC, CD, DE и т. д. по числу частей, на которые должен быть разделен



данный малый отрезок, например на восемь частей. Затем проводим от крайних точек A, a и I, i прямые линии AaO, IiO , до тех пор пока они не сойдутся в точке O ; от этой точки O проводим ко всем точкам раздела B, C, D, E и т. д. прямые линии OB, OC, OD, OE и т. д., которые одновременно разделят малый отрезок ai также на восемь равных частей.

Это действие удастся исполнить, каким бы малым ни был предлагаемый отрезок ai и как бы велико ни было число частей. По правде сказать, при исполнении мы можем довести деление только до известного предела — проводимые нами линии всегда имеют некоторую ширину, вследствие чего они сливаются, как

В. В. сможет это увидеть на чертеже, около точки O . Речь, однако, идет здесь о том, что возможно само по себе, а не о том, что мы в состоянии исполнить. В геометрии же линии не имеют никакой ширины и поэтому никогда не сливаются. Отсюда следует, что подобное деление не ограничено никакими пределами.

Если В. В. согласится со мной, что отрезок можно разделить на тысячу частей, то, следовательно, разделяя каждую часть надвое, можно будет разделить ее и на две тысячи частей и на том же основании на четыре тысячи и на восемь тысяч частей, причем никогда не дойдем до столь малых частей, что их уже нельзя будет больше делить. Сколь бы малой мы ни взяли линию, она может быть разделена на две половины, далее, каждая половина еще на две части, затем еще на две и так далее, до бесконечности.

То, что я написал здесь относительно линии, приложимо также к поверхности и тем более к твердому телу, имеющему три измерения: длину, ширину и высоту. Отсюда заключаем, что всякая протяженность делима до бесконечности¹ и это свойство называется *делимостью до бесконечности*. Всякий, кто попытается отрицать наличие этого свойства у протяженности, должен будет признать, что в результате деления можно прийти к столь малым частям, что их дальнейшее деление станет невозможным именно оттого, что у них не будет более протяженности. Тем не менее все эти частицы в совокупности должны образовать целое, от деления которого мы их и получим. Итак, при

том, что величина каждой частицы будет ничто или нуль, несколько пульей, взятых вместе, должны будут дать пекую величину, что уже явно нелепо. Ибо из арифметики В. В. известно, что сложение двух или нескольких пульей никогда не дает числа, отличного от нуля.

Следует, значит, считать совершенно необоснованным мнение, что при делении некоей протяженности или некоей величины получают в конечном итоге частицы столь малые, что дальнейшее деление их становится невозможным, ибо они уже не будут иметь размеров.

Чтобы еще яснее доказать несуразность этого мнения, предположим, что отрезок длиной в один дюйм был разделен на тысячу частей и эти части настолько малы, что не допускают дальнейшего деления. Следовательно, каждая часть не будет больше иметь размеров, ибо если бы у нее были размеры, она была бы делимой. Отсюда заключаем, что каждая частица будет ничто и даже подлинное ничто. Но если все эти тысячи частей вместе составляли дюйм, а тысячная часть дюйма была бы ничто, то это так же нелепо, как утверждать, что половина какой-либо величины — ничто.

Итак, если абсурдно, что половина какой-то величины — ничто, то столь же абсурдно, что половина половины или четверть той же величины — ничто; и то, что справедливо в отношении четверти, должно быть также справедливо в отношении тысячной или миллионной части. Как бы далеко ни простиралось воображаемое деление дюйма, всегда можно продолжить деление еще дальше, и никогда не удастся достичь того, чтобы последние части были совершенно неделимы. Эти части, без сомнения, становятся все меньше и меньше, и их величина все больше приближается к нулю, но никогда они не достигнут этого предела. Поэтому вполне справедливо считается в геометрии, что всякую величину можно делить до бесконечности и что при подобном делении никогда нельзя достигнуть того предела, за которым дальнейшее деление становится невозможным. Здесь, однако, нужно точно различать то, что возможно в принципе, от того, что выполнимо в действительности. Наши практические возможности весьма ограничены. Если, например, разделить дюйм на тысячу частей, то эти части окажутся столь малы, что мы не сможем их увидеть и дальнейшее деление станет для нас, безусловно, невозможно. Однако стоит только посмотреть на эту тысячную долю дюйма в хороший микроскоп, увеличивающий, например, в тысячу раз, и тогда каждая частица покажется нам такой же величины, как дюйм, видимый невооруженным глазом; это убедит нас в возможности деления каждой из этих частиц еще на тысячу частей; и это рассуждение можно продолжить сколь угодно далеко.

Таким образом, принимаем за непреложную истину делимость всякой величины до бесконечности; и это относится не только к протяженности, являющейся предметом геометрии, но и ко всем величинам другого рода, например ко времени и к числу.

Письмо 124

*Присуща ли эта бесконечная делимость
реально существующим телам?*

Итак, считаем установленной истину: протяженность делима до бесконечности, и невозможно представить себе части настолько малые, что их уже невозможно дальше делить.¹ Философы не отрицают этой истины, но они не согласны с тем, что она применима к реально существующим телам. Они утверждают, что протяженность, бесконечная делимость которой доказана, не что иное, как иллюзорный объект, созданный путем абстракции, и что простая протяженность, подобная рассматриваемой в геометрии, не может существовать в действительности.

В этом они правы: протяженность, без сомнения, есть общее понятие, образуемое путем абстракции, так же как абстрактные понятия «человек» или «дерево»; и подобно тому как человек или дерево вообще не существуют, то и протяженность вообще также не существует.

В. В. должно быть понятно, что бытием обладают только индивидуальные сущности, и общие понятия возникают лишь в нашем уме; но это не позволяет нам говорить, что эти общие понятия иллюзорны — напротив, они составляют основу всех наших знаний.

Все, что присуще общему понятию, и все связанные с ним свойства непременно обнаруживаются у всех индивидов, входящих в данное понятие. Когда говорят, что в общее понятие «человек» входят рассудок и воля, то без сомнения предполагают, что каждый отдельный человек наделен этими качествами. Те же философы кичатся тем, что они доказали наличие множества свойств, присущих субстанции вообще, хотя последнее является таким же абстрактным понятием, как и протяженность; однако же они утверждают, что все эти свойства присущи всем индивидуальным субстанциям, обладающим протяженностью. В самом деле, если какая-либо субстанция не обладала бы этими свойствами, было бы неверно утверждать, что они присущи субстанции вообще.

Если тела, являющиеся, без сомнения, сущностями протяженными, т. е. наделенными протяженностью, не были бы делимы до бесконечности, то неверно было бы приписывать им это свойство протяженности. Вышеупомянутые философы признают, однако, что это свойство присуще протяженности, и в то же время утверждают, что протяженные сущности им не обладают. Это равносильно тому, если бы я захотел сказать: рассудок и воля являются атрибутами человека вообще, но не присущи отдельным, реально существующим людям.

Отсюда В. В. может легко сделать следующее заключение: если бесконечная делимость является свойством протяженности вообще, то она непременно должна быть также присуща всем индивидуальным протяженным сущностям; или же если реальные протяженные существа неделимы до бесконечности, то было бы ошибочно приписывать это свойство протяженности вообще.

Невозможно отрицать оба этих вывода, так как это ниспровергло бы самые надежные основы наших знаний. Философы же, которые не признают бесконечной делимости реальных протяженных сущностей, должны были бы также отрицать наличие этого свойства у протяженности вообще; но поскольку они допускают последнее, то впадают в явное противоречие.

В. В. не следует этому удивляться: таков недостаток, свойственный и самым великим людям. Но вот что удивительно: эти философы, стремясь выйти из затруднительного положения, позволяют себе отрицать протяженность тел. Они говорят, что это только видимая протяженность, а реальная протяженность вовсе телам не свойственна.

В. В. может понять, что прибегая к столь жалкой словесной уловке, они приходят к отрицанию основного и наиболее очевидного свойства всех тел. Это — нелепость, подобная той, за которую некогда упрекали философов-эпикурейцев,² последние утверждали, что все, что есть в мире, — материально, не исключая и богов, существование которых они признавали. Но, поскольку они понимали, что признание таких богов, обладающих телом, сопряжено со многими трудностями, они прибегали к такой же уловке, как и современные философы, а именно говорили, что у богов не тела, а *квази-тела* и что они обладают не органами чувств, а *квази-чувствами*, и то же самое относительно всех других членов. Античные философы других школ насмехались над этими квази-телами и квази-чувствами; с таким же основанием они посмеялись бы и теперь над *квази-протяженностью*, которую современные философы приписывают телам: это слово «квази-протяженность» как нельзя лучше подходит кажущейся протяженности в противоположность протяженности подлинной.

Чтобы опровергнуть этих философов, геометрам достаточно сказать, что объекты, бесконечную делимость которых они доказали, тоже обладают только квази-протяженностью и что все сущности, наделенные квази-протяженностью, непременно должны быть делимыми до бесконечности. Но разве можно в чем-либо убедить этих философов: они скорее готовы отстаивать самые нелепые мнения, чем признать свое заблуждение. В. В. может заметить, что это характерно для большинства ученых.

2 мая 1761 г.

Письмо 125

Знаменитый спор о монадах

Когда в обществе обсуждают философские проблемы, предметом беседы обычно становятся вопросы, вызвавшие серьезные разногласия среди философов.

Делимость тел является именно таким вопросом, по которому ученые не придерживаются единого мнения. Одни утверждают, что делимость

беспредельна и невозможно получить столь малые частицы, которые были бы не способны к дальнейшему делению. Другие, однако, полагают, что такое деление совершается только до известного предела, и в конечном счете мы получаем частицы столь малые, что, поскольку они уже не обладают протяженностью, делить их далее нельзя. Они называют эти последние частицы, составляющие все тела, *простыми субстанциями*, или *монадами*.

В свое время спор о монадах был столь оживленным и всеобщим, что о них с жаром говорили в любом обществе и даже в кордегардиях. При дворе почти не было дам, которые не высказывались бы за или против монад. Одним словом, повсюду спор переходил на монады, и только о них и говорили.

Королевская Академия в Берлине приняла самое деятельное участие в этих спорах. У нее было в обычае предлагать ежегодно тему и присуждать премию — золотую медаль в пятьдесят дукатов — тому, кто, по ее мнению, представил наилучшее рассуждение на данную тему; на 1748 год она предложила вопрос о монадах.¹ Было представлено большое число трактатов на эту тему, и для рассмотрения их покойный президент г-н де Мопертюи учредил особую комиссию, поставив во главе ее ныне покойного г-на графа де Дона,² обергофмейстера двора Ее Величества королевы. Будучи беспристрастным судьей, граф де Дона рассмотрел с крайней тщательностью все доводы, выдвинутые как за, так и против монад. Наконец пришли к заключению, что доказательства, которые должны были подтвердить существование монад, настолько несостоятельны и химеричны, что все принципы наших знаний были бы этим ниспровергнуты. Поэтому решили одобрить противоположное мнение, и премия была присуждена г-ну де Юсти,³ который выдвинул наиболее убедительные возражения против монад.

В. В. легко поймет, что этот шаг Академии вызвал необычайное раздражение у сторонников монад во главе с великим прославленным г-ном Вольфом, считавшим себя столь же непогрешимым в своих суждениях, как папа Римский. Его приверженцы, которые в то время были более многочисленны и более воинственны, чем теперь, во всеуслышание обвинили Академию в несправедливости и пристрастии; глава же их чуть не обрушил громы философской анафемы на всю Академию. Я уж не помню, кому мы обязаны тем, что этого удалось избежать.

Поскольку проблема эта наделала столько шума, я полагаю, что В. В. не рассердится, если я остановлюсь на ней несколько подробнее.

Весь спор сводится к следующему: делимы ли тела до бесконечности или нет? Иными словами, есть ли предел для делимости тел? Как я уже отмечал, обе стороны согласны, что протяженность, рассматриваемая в геометрии, делима до бесконечности, ибо как бы мала ни была величина, можно представить себе половину этой величины, половину этой половины и так далее до бесконечности. Это понятие протяженности действительно

абстрактно, подобно любому рядовому понятию, например понятию человека, лошади, дерева и т. д., поскольку его не относят к определенному индивидуальному существу. Далее, в основе всех наших знаний лежит непреложный принцип, согласно которому все, что свойственно роду, свойственно также и всем индивидуумам, входящим в данный род. Следовательно, если все тела обладают протяженностью, то все свойства, приписываемые протяженности, должны быть также присущи каждому телу в отдельности. Если все тела протяженны, а протяженность — делима до бесконечности, то, следовательно, каждое тело — также делимо до бесконечности. Вот правильно построенный силлогизм; и поскольку не приходится сомневаться в первой посылке, то следует только убедиться, верна ли вторая посылка или нет? Иными словами, считать ли верным или нет, что тела обладают протяженностью.

Для того чтобы отстоять свое мнение, сторонники монад вынуждены говорить, что тела — не протяженны и обладают только видимой протяженностью, или *квази-протяженностью*. Они полагают, что этот довод достаточен для того, чтобы опровергнуть положение о бесконечной делимости. Но если тела не протяженны, хотелось бы знать, откуда мы извлекли наше представление о протяженности? Ибо если тела не протяженны, то в мире нет ничего протяженного, поскольку протяженность еще менее свойственна духовным субстанциям. И наше представление о протяженности окажется совершенно надуманным и химерическим. В таком случае и геометрия окажется совершенно бесполезной и химерической, неприложимой ни к каким объектам, реально существующим в мире. Ибо если нет ничего протяженного, то зачем углубляться в изучение свойств протяженности? Но поскольку геометрия, бесспорно, является одной из самых полезных наук, то предмет ее изучения не должен быть иллюзорным. Таким образом, нужно согласиться с тем, что предметом геометрии является хотя бы видимая протяженность, которую эти философы признают как свойство тел; но поскольку эта протяженность делима до бесконечности, то, значит, и реальные сущности, обладающие этой видимой протяженностью, будут непременно делимыми до бесконечности. Как бы ни изворачивались эти философы, стараясь отстоять свои монады, т. е. те последние и мельчайшие непротяженные частицы, из которых состоят, по их мнению, все тела, они постоянно встречаются с величайшими трудностями и никогда не смогут их избежать. Хотя они и утверждают, что только люди примитивного ума неспособны оценить их возвышенную теорию, но мы-то считаем, что самые тупоумные наиболее в этом преуспели.

Письмо 126

*Дальнейшие размышления
о бесконечной делимости тел и о монадах*

Когда речь идет о делимости тел, надлежит строго различать делимость, которую мы в состоянии осуществить, и ту, которая возможна сама по себе. Нет сомнения, что деление в первом смысле слова, а именно то, которое можно практически осуществить, вскоре достигает своего предела.

Размельчая камень, мы вполне можем превратить его в порошок; если бы можно было сосчитать все мельчайшие частицы, из которых состоит этот порошок, то число их было бы, без сомнения, весьма велико, и мы удивились бы, что сумели разделить камень на столько частей. Однако те же самые частицы будут для нас, на наш взгляд, почти неделимыми, ибо ни один инструмент, который мы могли бы применить, не позволит нам выполнить такое дробление. Тем не менее нельзя сказать, что эти частицы в принципе неделимы: достаточно рассмотреть их в сильный микроскоп, и каждая из них покажется нам довольно большим камнем, на котором можно различить множество точек и неровностей, что и убеждает нас в том, что дальнейшее деление вполне возможно, хотя мы и не в состоянии его выполнить. Ибо всегда, когда мы можем различить на объекте отдельные точки, это указывает на его способность делиться по меньшей мере на такое же число частей. Таким образом, речь здесь идет не о реальном делении, на которое хватает наших сил и нашего умения, а о делении, которое в принципе возможно; осуществить его способно только всемогущество Божье.

Именно так понимают философы слово «делимость»: если бы существовал большой камень настолько твердый, что никакая сила неспособна его разбить, то без колебаний можно было бы утверждать, что такой камень по своей природе так же делим, как и самый хрупкий камень той же величины. А сколько есть тел, не поддающихся нашему воздействию, но в делимости которых мы не сомневаемся. Луна — делимое тело, хотя от нее и невозможно отделить даже самой малой части; никто не усомнится в этом единственно по той причине, что она обладает протяженностью.

Всюду, где мы наблюдаем протяженность, мы должны признать делимость; таким образом, делимость есть свойство, неразрывно связанное с протяженностью. Однако опыт убеждает нас также в том, что деление тел может быть продолжено весьма далеко. Я не стану вспоминать известный пример с дукатом,¹ на который обычно ссылаются: чеканщики способны расплющить дукат на столь тонкие листочки золота, что ими можно покрыть очень большую поверхность; и дукат окажется разделенным на столько частей, на сколько может быть разделена данная поверхность. Наше собственное тело являет нам пример, еще более удивительный. Пусть только В. В. представит себе тончайшие сосуды и тончайшие нервы, содержащиеся в нашем теле, а также жидкости,

которые через них проходят. Тонкость структуры, которую мы там обнаруживаем, превосходит наше воображение.

Вспомним затем мельчайших насекомых, почти невидимых невооруженным глазом; ведь все они имеют члены, а также лапки, на которых передвигаются с поразительной быстротой. Но у каждой лапки имеются мышцы, состоящие из множества волокон, а также сосуды, нервы и тончайшая жидкость, которая через них протекает.²

Когда мы рассматриваем в сильный микроскоп каплю воды, она нам кажется целым морем, в котором плавают тысячи мельчайших живых существ; и каждое из них состоит из бесконечного числа маленьких мышечных и нервных волокон, чудесное строение которых не может не привести нас в восхищение. Но эти крошечные существа, хотя они, может быть, и будут самыми малыми из тех, которые мы можем обнаружить с помощью микроскопа, не являются, без сомнения, наименьшими из Божьих тварей. Существуют, по всей вероятности, другие создания, которые будут меньше их во столько раз, во сколько они сами меньше нас. И наконец, эти другие существа также не будут самыми малыми; за ними следует бесконечное число новых разновидностей, и каждая из них содержит существа, несравненно меньшие, чем предыдущие. Именно в этом следует усмотреть всемогущество и мудрость Создателя, проявляющиеся здесь в такой же мере, как и в самых грандиозных его творениях. И мне кажется, что лицезрение всех этих крохотных существ, за каждым из которых следует другое существо несравненно меньшей величины, должно производить самое сильное впечатление на наш ум и внушать нам самые возвышенные представления о созданиях Всевышнего, власть которого распространяется беспрдельно как на малые творения, так и на большие.

В этой связи я хочу отметить, что только люди крайне ограниченного ума могут вообразить, что после разделения тела на большое число частей остаются в конечном счете частицы столь малые, что дальнейшее их деление становится невозможным. Предположим, однако, что в результате деления получаются частицы столь малые, что по своей природе они уже неспособны делиться дальше, как это и имеет место в случае с монадами. До того как будет достигнут этот предел, должна появиться частица, состоящая только из двух монад; эта частица будет иметь некую величину или протяженность, ибо в противном случае ее нельзя было бы разделить на две монады. Предположим далее, что эта частица, поскольку она еще обладает некоей протяженностью, будет равна тысячной доле дюйма или еще того меньше; это не имеет значения, ибо то, что я могу сказать про тысячную долю дюйма, можно равным образом сказать и о всякой другой части, еще меньшей.

Итак, эта тысячная доля дюйма состоит из двух монад, и, следовательно, две монады, вместе взятые, составляют тысячную долю дюйма, а ничто, повторенное две тысячи раз, — целый дюйм; нелепость этого рассуждения бросается в глаза. Поэтому монадисты и опасаются этого аргумента; они впадают

в нерешительность, когда их спрашивают, сколько надо монад, чтобы образовать протяженность? Им кажется, что две монады — это слишком мало, и они отвечают, что нужно несколько. Но если две монады не могут образовать протяженность, ибо ни одна из них ею не обладает, то по той же причине ни три, ни четыре, ни любое другое число монад не составят протяженности. И этот довод полностью ниспровергает теорию монад.

9 мая 1761 г.

Письмо 127

Опровержение и ответ на возражения монадистов против бесконечной делимости тел

Сторонники монад еще далеки от того, чтобы уступать доводам, приводимым для доказательства бесконечной делимости тел. Не опровергая прямо этих доводов, они утверждают, что бесконечная делимость — это выдумка геометров и включает в себе явные противоречия. Ибо если каждое тело делимо до бесконечности, то оно должно состоять из бесконечного числа частей, причем это относится к самым малым телам, как и к самым большим. Число этих частиц, к которым должно привести бесконечное деление, т. е. последних частиц, составляющих тело, будет, следовательно, столь же велико в самом малом теле, как и в самом большом, иными словами, и в том и в другом оно будет бесконечным. Это позволяет монадистам льстить себя надеждой, что их аргумент неопровержим. Ибо если число последних частиц, из которых состоят оба этих тела, одинаково, то из этого следует, говорят они, что тела совершенно равны.

Отсюда вытекает предположение, что последние частицы все абсолютно равны друг другу; ибо если одни были бы больше других, никого бы не удивило, что одно из двух тел было бы значительно больше другого. Тем не менее, утверждают они, все последние частицы всех тел неизбежно равны между собой, поскольку они не имеют больше никакой протяженности и их размеры совершенно исчезают или равны нулю.

Из этого они извлекают даже новый довод, говоря, что все тела якобы состоят из бесконечного числа «ничто», что является еще большей нелепостью.

Охотно с ними соглашусь, но должен при этом отметить: монадистам не следовало бы приводить подобное возражение, поскольку именно они утверждают, что все тела состоят из определенного числа монад, хотя в отношении величины эти последние также представляют собой ничто; таким образом, по их собственному признанию, несколько «ничто» способны составить тело. На самом деле они говорят, что их монады не есть «ничто», а есть сущности, наделенные исключительным свойством, на котором ос-

нована природа тел, образуемых этими монадами. Однако здесь речь идет только о протяженности, и поскольку они вынуждены признать, что их монады не имеют никакой протяженности и что их протяженность есть «ничто», то, по их словам, несколько «ничто» всегда могут образовать нечто. Но я не хочу развивать дальше этот аргумент против монадистов: речь скорее идет о том, чтобы прямо опровергнуть их возражение относительно последних частиц всех тел, ибо с помощью этого аргумента они надеются одержать полную победу над сторонниками бесконечной делимости.

Прежде всего мне хотелось бы узнать, что подразумевают монадисты под «последними частицами» тел? Согласно их теории, каждое тело состоит из некоего числа монад, и последние частицы тела, как я это понимаю, есть не что иное, как те самые монады, которые его образуют; применительно же к теории бесконечной делимости словосочетание «последние частицы» мне совершенно непонятно.

Монадисты действительно утверждают, что это те частицы, которые получаются при делении тела после того, как это деление будет продолжено до бесконечности. Но мне кажется, что с таким же правом можно было бы сказать: после того как будет завершено деление, которое никогда не кончается. Ибо деление до бесконечности означает не что иное, как возможность продолжать деление все дальше и дальше, никогда не достигая предела, когда деление должно прекратиться. Следовательно, тот, кто отстаивает бесконечную делимость, отрицает категорически существование в телах последних частиц; предполагать в одно и то же время наличие последних частиц и бесконечную делимость — это очевидное противоречие.

Итак, я отвечаю монадистам, что их возражение против бесконечной делимости тел было бы обоснованным, если их теория допускала бы существование последних частиц, но поскольку эти последние частицы померенно из их теории исключены, все это великолепное рассуждение рушится само собой. Следовательно, ложно утверждение, что теория бесконечной делимости предполагает образование тел из бесконечного множества частиц. Какими бы связанными ни казались монадистам эти два положения, они явно противоречат друг другу; ибо тот, кто утверждает, что тела делимы до бесконечности, категорически отрицает существование последних частиц, а стало быть, здесь о них не может быть и речи. Это слово означает не что иное, как частицы, подлежащие дальнейшему делению, а следовательно, оно неприменимо в теории бесконечной делимости. Итак, мы полностью отразили это грозное нашествие монадистов.

Письмо 128

*О принципе достаточного основания,
который является самой сильной опорой монадистов*

В. В. легко убедится в том, что из двух теорий, о которых я так подробно говорил, одна непременно должна быть истинной, а другая — ложной, поскольку не существует третьей, занимающей промежуточное положение. Обе стороны признают, что тела — делимые; вопрос лишь в том, имеет ли эта делимость предел или же может продолжаться все дальше и дальше, никогда не доходя до неделимых частиц.

Приняв первое положение, приходим к теории монад; ведь если деление тела продолжается до тех пор, пока не получим частицы, неспособные к дальнейшему делению, то эти самые частицы и есть монады. На этом основании утверждают, что все тела состоят из монад, а каждое из них — из некоего определенного числа монад. Следовательно, тот, кто отвергает теорию монад, должен также отрицать то, что делимость тел имеет предел; он должен отрицать возможность продолжать это деление непрерывно и беспрестанно. Это другой случай: делимость до бесконечности, когда категорически отрицается существование последних частиц. Отсюда следует, что все трудности, связанные с бесконечным числом последних частиц, отпадают сами собой. Если отвергнуть монады, то уже не может быть речи о последних частицах и еще менее о числе частиц, необходимых, чтобы составить каждое тело.

В. В., должно быть, заметили, что все сказанное мною до сих пор в защиту монадистов не является столь уж важным. Но теперь я буду иметь честь сообщить В. В., что важнейшей опорой их теории служит *закон достаточного основания*;¹ они пользуются им настолько умело, что получают возможность доказать все, что согласуется с их взглядами, и отвергнуть все, что им противоречит. «Ничто не может существовать без достаточного основания», — это самое удачное открытие, которое когда-либо было сделано; и именно современным философам мы обязаны этим открытием.

Чтобы получить представление об этом так называемом законе, В. В. следует только учесть, что относительно всего сущего можно всегда поставить вопрос: почему оно именно таково? Ответ на этот вопрос и является тем, что называют *достаточным основанием*, если предположить, что оно действительно позволяет надлежащим образом ответить на поставленный вопрос. Итак, всегда, когда можно задать вопрос «почему?», предполагается возможность удовлетворительного ответа, который будет, следовательно, заключать в себе достаточное основание.

Это, однако, далеко не тайна, раскрытая только в наши дни. Во все времена и по любому поводу люди спрашивали «почему?», что неопровержимо доказывает признание ими того, что все вещи должны иметь достаточное основание, или причину своего бытия. «Нет ничего без причин» — это также принцип,

известный еще античным философам. Но, к сожалению, причина чаще всего скрыта от нас: напрасно мы спрашиваем «почему?», нет никого, кто бы нам указал достаточное основание.

Без сомнения, все имеет свое достаточное основание, но мы не продвинемся ни на шаг вперед, пока это основание нам неизвестно.

В. В. может подумать, что те современные философы, которые так хвалятся открытием закона достаточного основания, открыли также достаточное основание всех вещей и способны ответить на все «почему?», которые им смогут задать: это было бы, без сомнения, высшей ступенью наших знаний. Отнюдь нет, в этом отношении они столь же невежественны, как и все другие: вся их заслуга, которой они так кичатся, сводится к следующему: они якобы доказали, что во всех случаях, когда спрашивают «почему?», должен быть удовлетворительный ответ, хотя, чаще всего, он от нас скрыт.

Они согласны с тем, что древние также имели представление об этом законе, хотя и весьма смутное, тогда как они внесли в него полную ясность и доказали его истинность; поэтому они умеют извлечь больше пользы из этого закона и с его помощью доказать, что все тела состоят из монад. По их словам, необходимо, чтобы тела имели для своего бытия какое-то достаточное основание; но если бы они были делимы до бесконечности, то не могло бы быть никакого достаточного основания. Отсюда они заключают с весьма глубокомысленным видом, что поскольку все должно иметь свое достаточное основание, то совершенно необходимо, чтобы все тела состояли из монад. Что и требовалось доказать. Признаюсь, вот уж поистине неопровержимое доказательство.

Было бы, конечно, очень хорошо, если бы столь поверхностное рассуждение могло пролить свет на важнейшие вопросы: но что до меня, должен признаться, я совершенно ничего не понимаю в этом прекрасном рассуждении. Говорят о достаточном основании бытия тел, желая тем самым ответить на некое «почему?», которое никак не объясняют. Однако нет сомнения, что нужно всегда хорошо изучить вопрос, прежде чем на него ответить. Здесь дается ответ до того, как сформулирован вопрос. Если спросят: «почему существуют тела?», было бы, по моему мнению, нелепо ответить: «потому что они состоят из монад», — как если бы в монадах заключалась причина существования тел. Ведь, конечно, не монады создали тела. Когда я спрашиваю, почему существует некая реальная вещь, то не предполагаю иного ответа, как тот, что Создатель даровал ей существование, но каким способом совершилось это творение, здесь, я думаю, философы должны откровенно признаться в своем незнании.

Тем не менее они утверждают, что Бог не мог бы сотворить тела, если бы до этого не создал монад, и что тела в дальнейшем образовались из сочетания монад. Тем самым предполагается, что тела непременно состоят из монад, что, однако, они хотели бы доказать с помощью этого рассуждения. В. В. должно быть понятно, что, когда хотят что-либо доказать, нельзя заранее предполагать, что это истинно. Это не что иное, как обман, который называют в логике *petitio principii*.²

Письмо 129

*Другой довод сторонников монад,
выведенный из принципа достаточного основания,
и о нелепостях, неизбежно из этого вытекающих*

Сторонники монад извлекают из закона еще один важный аргумент в пользу своей теории достаточного основания. Они говорят, что не могли бы даже постичь возможности бытия тел, если бы последние были делимыми до бесконечности, ибо в этом случае не было бы ничего, что могло бы дать пищу их воображению: им нужно существование последних частиц или элементов, для того чтобы их сочетанием они могли бы объяснить образование тел.

Неужели же они хотят понять возможность бытия всех существующих в мире тел? Такое притязание свидетельствовало бы о непомерном тщеславии; однако умствования такого рода весьма обычны для этих философов, рассуждающих так: я не могу понять возможности бытия той или иной вещи, если только она не будет такой, как я себе ее представляю, а следовательно, она должна быть именно такой.

В. В. легко поймет, что рассуждение такого рода весьма легковесно и что для достижения истины требуются более глубокие изыскания. Наше незнание никогда не может быть средством, ведущим нас к познанию истины, а доказательство, приведенное мною выше, очевидно, основано на незнании других способов объяснения возможности бытия тел.

Пусть так! Но если существовало бы только то, возможность чего они могут понять, могли бы они объяснить образование тел из монад? Поскольку монады не имеют никакой протяженности, их следует рассматривать как точки в геометрии или, как мы представляем себе, духовные субстанции, или души. Известно, однако, что множество геометрических точек, сколь бы большим ни предполагать их число, не может образовать линию и еще менее того поверхность или тело. Если тысячи точек было бы достаточно, чтобы составить тысячную часть дюйма, то каждая из них должна была бы иметь некоторую протяженность, и эта протяженность, взятая тысячу раз, стала бы равной тысячной части дюйма. Однако неоспоримо, что сколько бы ни взять точек, они никогда не смогут образовать ни малейшей протяженности. Я говорю здесь об истинных точках, тех, которые мы рассматриваем в геометрии, не обладающих протяженностью и представляющих собой в этом отношении абсолютное ничто.

Наши философы согласны с тем, что геометрические точки не могут образовать никакой протяженности, и при этом торжественно заявляют, что не следует смешивать их монады с подобными точками. По их утверждению, у монад, как и у точек, нет протяженности, но зато они обладают поразитель-

ными свойствами, как например способностью представлять себе весь мир посредством понятий, хотя и крайне смутных. Именно эти свойства позволяют им воссоздавать качество протяженности, или, вернее, той *квази-протяженности*, о которой я уже говорил выше. Следовательно, нужно представлять себе монады наподобие духовных субстанций и душ, с тем единственным различием, что способности монад значительно менее совершенны.

Мне кажется, что здесь трудности еще увеличиваются, и я льщу себя надеждой, что В. В. присоединится к моему мнению: две или несколько духовных субстанций не могут сочетаться так, чтобы образовать протяженность. Множество духовных субстанций действительно может составить собрание или совет, но ни в коем случае не протяженность. В самом деле, если мы не будем принимать во внимание тело каждого советника, никак не участвующее в совещании, то совет является не чем иным, как собранием духовных субстанций, или душ; но разве может подобное собрание иметь протяженность? Отсюда следует, что монады еще менее способны образовать протяженность, нежели геометрические точки. В этом вопросе монадисты также между собой не согласны. Одни из них говорят, что монады — это реальные части тела и что если продолжить деление тела так далеко, насколько это возможно, то в результате получим монады, составляющие это тело.

Другие же категорически отрицают, что монады можно рассматривать как части тела; они заключают в себе только достаточное основание. В то время как тело движется, монады остаются неподвижными, но содержат в себе достаточное основание для движения. И наконец, монады не могут соприкасаться друг с другом; так что, когда я притрагиваюсь рукой к какому-нибудь телу, ни одна монада моей руки не касается ни одной монады этого тела.

Но тогда, спросит В. В., что же при этом приходит в соприкосновение, если не монады, в которых заключена вся реальность бытия как моей руки, так и вышеуказанного тела? Остается только ответить, что это соприкасаются два «ничто», или вообще отрицать наличие какого-либо реального соприкосновения, рассматривать его лишь как иллюзию, лишенную реальности. И то же самое им приходится говорить про все другие тела; по убеждению этих философов, это не более как призраки, которые создает наш ум, представляя себе крайне смутно монады, содержащие достаточное основание всего того, что мы называем телами.

В этой философии все есть дух, обманчивая видимость и иллюзия; и если мы, непосвященные, не можем постичь этих тайн, то это в силу нашей тупости, которая заставляет нас придерживаться примитивных понятий простонародья. Самое странное здесь то, что эти философы в своем намерении исследовать и объяснить природу тел и протяженности пришли к отрицанию существования тел и протяженности. Это, бесспорно, самый надежный способ преуспеть в объяснении природных явлений: нужно только их отрицать

и приводить в доказательство закон достаточного основания. Вот к каким крайностям могут прийти философы, вместо того чтобы признаться в своем неведении.

19 мая 1761 г.

Письмо 130

Самые детальные размышления о системе монад

Было бы, впрочем, достойно сожаления, если бы рухнула столь хитроумно построенная теория монад. Она наделала слишком много шума и потребовала от своих сторонников столь много возвышенных и глубоких умствований, что совершенно забыть ее было бы невозможно. Она навсегда останется замечательным памятником тех заблуждений, в которые могут впасть философские умы. А стало быть, эта теория заслуживает того, чтобы описать ее В. В. более подробно.

Прежде всего надо изгнать из наших мыслей все, что относится к физическому миру, т. е. всякую протяженность, какое бы то ни было движение, время и пространство, ибо все это не более как иллюзия.

В мире существуют только монады, число которых, без сомнения, чрезвычайно велико. Ни одна монада не связана с другими; и, исходя из закона достаточного основания, доказывается, что монады неспособны ни к какому взаимодействию. Правда, они наделены силами, но силы эти развиваются только внутри них самих, не оказывая ни малейшего влияния на другие монады.

Эти силы, присущие каждой отдельной монаде, стремятся к непрерывному изменению их собственного состояния, и деятельность этих сил состоит в том, что они создают представления обо всех других монадах. Например, моя душа есть монада, и внутренняя ее природа заключает в себе представления о состоянии всех других монад. Эти представления большей частью очень смутны, и силы моей души постоянно стремятся прояснить эти смутные представления и довести их до высшей степени ясности.

Другие монады в этом отношении сходны до некоторой степени с моей душой; каждая содержит огромное множество смутных представлений обо всех других монадах и об их состоянии; и все они постоянно стремятся постепенно более или менее успешно развивать эти представления и доводить их до более высокой степени ясности. Те монады, которые преуспели в этом лучше, чем я, являются более совершенными духовными субстанциями; однако большинство пребывает в плену своих смутных представлений. Именно эти последние монады, когда они являются объектом представлений моей души, порождают в ней иллюзорные, обманчивые понятия протяженности и тел. Всякий раз,

когда моя душа думает о каких-либо телах и о движении, это означает, что имеется множество других монад, еще пребывающих во мраке неведения. Именно тогда, когда я думаю об этих несчастных монадах, в моей душе возникает представление о некоей протяженности, которая является, следовательно, не более чем чистой иллюзией.

Чем больше число этих несчастных монад, погруженных в бездну своих смутных представлений, тем сильнее моя душа ослеплена идеей протяженности. Когда же эти самые монады постепенно приходят к прояснению своих смутных представлений, мне кажется, что протяженность уменьшается, чем и вызывается в моей душе иллюзорное представление о движении.

В. В., без сомнения, спросит, как моя душа может заметить, что другим монадам удастся прояснить свои смутные представления, если отсутствует всякая связь между мною и другими монадами? На это у монадистов есть готовый ответ: это происходит в соответствии с высшей гармонией, установленной между всеми монадами самим Создателем (который и сам является не более как монадой — говоря это, я краснею от стыда!); благодаря этой гармонии каждая монада наблюдает в самой себе, как в зеркале, все изменения, которые происходят в других монадах, хотя между ними нет никакой связи.

Итак, можно надеяться, что в конечном счете всем монадам удастся прийти к более ясным представлениям; тогда мы утратим всякие понятия тела и движения; и вся обманчивая видимость, порождаемая только смутностью понятий, совершенно исчезнет.

Однако, по всей видимости, мы не сможем дойти до этого счастливого состояния: большинство монад, усовершенствовав однажды свои смутные представления, затем снова к ним возвращается.

Находясь в своей комнате, я замечаю только малую протяженность по той причине, что многие монады усовершенствовали свои представления; но стоит мне выйти наружу и начать созерцать безграничные небесные просторы, как все эти монады должны будут вновь прийти в состояние отупения.

Далее, не существует ни места, ни движения, все это лишь иллюзия: моя душа пребывает почти всегда в одном и том же месте, так же как все другие монады. Но когда моя душа начинает прояснять некоторые понятия, бывшие ранее смутными, тогда мне кажется, что я приближаюсь к объекту, который эти понятия представляет мой душе, или, вернее, к объекту, порожденному в моей душе монадами этого понятия: в этом и заключается подлинное объяснение того явления, когда нам кажется, что мы приближаемся к неким объектам. Случается зачастую и так, что приобретенные нами ясные представления снова исчезают, и тогда нам кажется, что мы удаляемся от этого же самого объекта. Здесь и следует искать подлинную суть всех наших странствий. Так, например, мое представление о городе Магдебурге вызвано некими монадами, о которых в настоящий момент я имею только смутное представление. В этом причина, почему мне кажется, что я нахожусь далеко от Магдебурга. В прошлом году те же самые представления внезапно прояснились, и тогда я вооб-

разил, что поехал в Магдебург и провел там несколько дней. Между тем все это путешествие только иллюзия, ибо моя душа не трогается с места. Равным образом, В. В. напрасно думает, что находится не в Берлине; это лишь иллюзия. Истинная причина в том, что имеются некие монады, смутные представления которых вызывают понятия о Берлине, причем весьма неотчетливые. В. В. стоит только прояснить эти представления, чтобы тотчас же оказаться в Берлине. Только это и необходимо; все, что мы называем путешествиями и что стоит нам столько денег — чистойшей иллюзия. Это и есть подлинное изложение теории монад.

В. В. может, однако, спросить, возможно ли, чтобы были здравомыслящие люди, которые серьезно отстаивают подобные нелепости? Здесь я имею честь ответить, что таких людей даже слишком много, что я сам некоторых из них знаю, что они находятся в Берлине и, может быть, также и в Магдебурге. Опасаюсь, однако, что это вызовет возмущение В. В.

23 мая 1761 г.

Письмо 131

Продолжение

Теория монад, как я ее описал В. В., является необходимым следствием принципа, согласно которому тела состоят из простых субстанций. Если только допустить этот принцип, то приходится признать правильность следствий, вытекающих из него столь естественно, что уже невозможно отбросить ни одного из них, каким бы оно ни казалось чуждым и неуместным.

Прежде всего, эти простые субстанции, из которых должны состоять тела, и есть монады, и поскольку они сами непротяженные, то тела, состоящие из них, также не могут обладать протяженностью. Любые протяженности становятся призрачными и иллюзорными, ибо очевидно, что части, не имеющие никакой протяженности, не способны образовать подлинную протяженность. В лучшем случае это предстанет как видимость или призрак, обольщающий нас обманчивым представлением о протяженности. В конечном счете все превращается в иллюзию, и именно на этой иллюзии построена теория предустановленной гармонии, о пагубных последствиях которой я уже имел честь говорить В. В.

Нужно, следовательно, остерегаться, чтобы не дать себя завлечь в этот полный нелепостей лабиринт. Стоит сделать только первый шаг, и уже невозможно из него выбраться. Все зависит от первичных представлений о протяженности. И путь, который избрали монадисты, чтобы построить свою систему, представляется весьма соблазнительным.

Эти философы не любят говорить о протяженности тел, ибо они предвидят, что впоследствии она окажется для них роковой. Так, вместо того чтобы ска-

зать, что тела обладают протяженностью, они говорят, что тела — это сложные субстанции; с этим приходится согласиться, поскольку протяженность необходимо предполагает делимость, а следовательно, и наличие множества частей, составляющих тела. Однако монадисты в дальнейшем начинают злоупотреблять этим понятием сложной субстанции. Они говорят, что субстанция может быть сложной, лишь поскольку она состоит из простых субстанций; и отсюда заключают, что всякое тело состоит из простых субстанций. Стоит только согласиться с этим заключением, и мы уже в ловушке, и не можем дальше отступить, так как нам придется признать, что эти простые субстанции, не будучи сложными, не имеют и протяженности.

Этот коварный довод очень опасен и способен нас увлечь, если только мы его примем, нам уже придется согласиться и со всем тем, что пожелают эти философы. Стоит только допустить, что тела состоят из простых субстанций, иными словами, из частей, не имеющих протяженности, и мы уже полностью вовлечены в западню. Поэтому нужно всеми силами стараться опровергнуть этот довод: «всякая сложная субстанция состоит из простых субстанций». Даже если нам не удастся прямо доказать ложность этого утверждения, неленых последствий, вытекающих из него, уже достаточно, чтобы его опровергнуть.

И действительно, сначала признается, что тела протяженны; из этого монадисты исходят в своем утверждении, что тела — сложные субстанции; сделав вывод, что тела состоят из простых субстанций, они тем самым вынуждены признать, что простые субстанции неспособны образовать истинной протяженности, а следовательно, протяженность тел не более как иллюзия. Это весьма странное суждение, где заключение прямо противоположно посылкам.

Сперва говорится, что тела действительно обладают протяженностью, ибо если бы это было не так, то как можно было бы узнать, что они — сложные субстанции? Но вскоре после этого приходят к заключению, что телам не свойственна подлинная протяженность. По моему мнению, еще никогда не было ложного положения, которое было бы легче опровергнуть, чем это последнее. Вопрос стоял так: «Почему тела протяженны?». После некоторых уверток дают ответ: «Потому что они не протяженны».

Если бы кто-нибудь меня спросил: почему у треугольника три стороны? — и я бы на это ответил: это только иллюзия, что треугольник имеет три стороны, — остался бы он доволен моим ответом?

Итак, совершенно очевидна несостоятельность посылки, утверждающей, что всякая сложная субстанция непременно состоит из простых субстанций, какой бы обоснованной она ни показалась сторонникам монад, которые готовы даже отнести ее к числу аксиом, или основных принципов нашего познания. Уже одной той нелепости, к которой она непосредственно приводит, достаточно, чтобы ее ниспровергнуть, хотя бы даже не было других оснований в ней сомневаться.

Поскольку «сложная субстанция» означает в этой теории то же, что и «протяженная субстанция», это все равно, что сказать: всякая протяженная субстанция состоит из субстанций, не имеющих протяженности. Но в этом-то и состоит вопрос. Спрашивается, при делении тела можно ли достичь предела, когда частицы уже неспособны к дальнейшему делению из-за отсутствия протяженности? Или же, сколько бы ни продолжать деление, невозможно дойти до таких частиц, т. е. делимость не имеет предела?

Чтобы решить этот важный вопрос, безосновательно предполагают, что всякое тело состоит из частей, вовсе не имеющих протяженности. При этом, правда, приводят некоторые блестящие доводы, исходящие из пресловутого закона достаточного основания, и говорят при этом, что сложная субстанция может иметь свое достаточное основание только в составляющих ее простых субстанциях. Это было бы справедливо, если бы сложная субстанция действительно состояла из простых субстанций, что, однако, оспаривается. Но если отрицать, что сложная субстанция состоит из простых, то уже нельзя ссылаться и на достаточное основание.

Впрочем, мадам, очень опасно вступать в спор с людьми, которые верят в монады; помимо того, что этим мы ничего не добьемся, нас еще во всеуслышание обвинят в том, что мы нападаем на закон достаточного основания — краеугольный камень всякой достоверности и самого существования Бога. Согласно их утверждению, все те, кто не принимает монад и отвергает их величественную систему, где все — лишь иллюзия, — скептики и даже атеисты. Я надеюсь, что это легкомысленное обвинение не произведет ни малейшего впечатления на В. В.; нелепости, которые они вынуждены допускать, отстаивая теорию монад, настолько вопиющи, что нет необходимости опровергать их во всех подробностях. Вся их теория основана на недостойном злоупотреблении законом достаточного основания.

26 мая 1761 г.

Письмо 132

Конец размышлений о системе монад

Итак, надлежит либо признать делимость тел до бесконечности, либо принять теорию монад со всеми вытекающими из нее нелепостями — иного выбора нет. Эта альтернатива дает монадистам еще один сильнейший довод в защиту их теории.

Они утверждают, что признание бесконечной делимости вынуждает нас приписывать телам свойство бесконечности, тогда как, без всякого сомнения, нет ничего бесконечного, кроме одного Бога.

Монадисты — весьма опасные люди: только что они обвиняли нас в атеизме, а теперь ставят нам в упрек идолопоклонство, утверждая, что мы при-

писываем каждому телу бесконечные совершенства. Если бы это было так, мы были бы хуже язычников, ибо те обожествляют только нескольких идолов, тогда как мы поклонялись бы всем телам словно божествам. Это был бы, без сомнения, самый страшный упрек, если бы он был хоть сколько-нибудь обоснован. Что до меня, то я предпочел бы принять теорию монад со всеми неизбежно вытекающими из нее иллюзиями и бредовыми идеями, нежели отстаивать бесконечную делимость, если бы с ней было связано столь откровенное богохульство.

В. В. согласится с тем, что упрекать своих противников в атеизме или в идолопоклонстве — подлый способ вести диспут.¹ В чем же, однако, состоит эта божественная бесконечность, которую мы приписываем телам? Разве мы говорим, что они бесконечно сильны, бесконечно разумны, бесконечно благи или бесконечно счастливы? Отнюдь нет. Мы утверждаем только, что при делении тел, как бы далеко ни продолжать деление, всегда возможно делить и дальше и что никогда мы не достигнем частиц, уже неделимых. Можно выразиться и иначе, а именно, сказать, что делимость тел не имеет *предела*; и совсем неуместно называть это свойство бесконечностью, ибо бесконечность присуща только одному Богу.

Прежде всего я хочу отметить, что само слово «бесконечность» не так опасно, как это думают наши философы. Если сказать, например, «бесконечно злой», то это будет бесконечно далеко от совершенств Бога.

Далее, эти же самые философы согласны с тем, что существование наших душ не имеет конца, иными словами, они признают бесконечность бытия души, которая, по их мнению, никак не посягает на бесконечные совершенства Господни. Кроме того, когда их спрашивают, имеет ли Вселенная предел в своей протяженности, они не решаются прямо ответить на этот вопрос. Некоторые из них откровенно заявляют, что протяженность мира может быть бесконечной, так что мы никогда не достигнем края света, как бы далеко ни простирались наши мысли. Вот еще одна бесконечность, которую они не считают еретической.

С еще большим основанием делимость до бесконечности не должна казаться им подозрительной. Быть делимым до бесконечности — это, конечно же, не атрибут, который осмелились бы когда-либо приписать Всевышнему. Бесконечная делимость придает телам некоторую долю совершенства, но, без сомнения, значительно меньшую, чем та, которую им приписывают эти же философы, утверждая, что тела состоят из монад; ведь, согласно их теории, монады — это субстанции, наделенные столь замечательными свойствами, что они, не стыдясь, причисляют к монадам и самого Бога.

В действительности понятие делимости, продолжающейся безостановочно и беспредельно, не включает в себе ничего божественного, но, напротив, низводит тела на значительно более низкую ступень, чем та, где находятся духовные субстанции и наши души; и можно сказать, что душа по своей сущности имеет значительно большую ценность, чем все тела в нашем мире.

Однако, согласно теории монадистов, всякое тело, и даже самое ничтожное, состоит из множества монад, и каждая из них по своим свойствам весьма сходна с нашими душами. Все монады представляют себе Вселенную так же хорошо, как и наши души, но, говорят эти философы, монады имеют о мире только очень смутные представления, тогда как мы представляем себе мир достаточно ясно и иногда даже совершенно отчетливо.

Но что убеждает их в этом различии? Не следует ли опасаться, что монады, составляющие перо, которым я пишу, имеют о мире значительно более ясные представления, чем моя душа? И каким образом я могу быть уверен в противном? Я должен был бы стыдиться того, что пользуюсь этим пером для записи моих ничтожных мыслей, ибо монады, составляющие это перо, обладают, может быть, более возвышенными мыслями; и В. В. были бы, возможно, более довольны, если бы мое перо записывало на эту бумагу свои собственные мысли, а не мои.

Но по убеждению монадистов, в этом нет необходимости: душа В. В. сама собой воссоздает представления о всех возвышенных мыслях моего пера, хотя и недостаточно ясные; поэтому все, что я осмеливаюсь здесь писать, никак не способствует прояснению смутных представлений у В. В. Монадисты не могут оказывать друг на друга никакого влияния; следовательно, душа В. В. обретает в самой себе все, что я намереваюсь ей сообщить, так что я этому никак не способствую.

Все беседы, а также чтение и письмо — не более чем обманчивые условности, которые мы лишь в силу иллюзии считаем средствами для расширения наших знаний. Но я уже имел честь сообщить В. В. о восхитительных последствиях теории предустановленной гармонии, и у меня есть основания опасаться, что все эти пустые бредни наскучат В. В. Тем не менее есть множество людей, и даже достаточно просвещенных, которые рассматривают теорию монад, а также необходимо вытекающую из нее идею предустановленной гармонии как высшие достижения человеческого разума и испытывают к этим теориям величайшее почтение.

Я льщу себя надеждой, что мне удалось оградить ум В. В. от всех этих бредовых идей, какими бы соблазнительными они ни казались. Однако мне было бы неприятно, если бы тем самым я внушил В. В. плохое мнение о многих современных философах. Большинство из них ни в чем не повинны: они продолжают отстаивать теорию, которая однажды их прельстила, не заботясь о тех странных последствиях, которые неизбежно из нее вытекают.

30 мая 1761 г.

Письмо 133

Объяснения о природе цветов

Я не могу отрицать, что мысли о природе цвета, которые я однажды имел честь изложить В. В.,* еще весьма далеки от той степени убедительности, до которой мне бы хотелось довести их. Эта проблема была во все времена камнем преткновения для философов, и я не ободряюсь мыслью, что мне удалось разрешить все затруднения. Однако надеюсь, что разъяснения, которые я представлю, рассеют значительную долю этих затруднений.

Античные философы относили цвет предметов к таким свойствам, о которых мы не знаем ничего, кроме слова, это свойство обозначающего. Когда их спрашивали, почему тот или иной предмет имеет, к примеру, красный цвет, они отвечали, что это происходит от некоего свойства, благодаря которому этот предмет представляется красным. В. В. понимает, конечно, что этот ответ не продвигает нас ни на шаг и что ничуть не хуже было бы откровенно признать свое невежество в этом вопросе.

Декарт, который первый имел смелость исследовать тайны природы, написал явление цвета некоему смешению света и тьмы. Однако, поскольку тьма — это не что иное, как отсутствие света, ибо она всегда там, куда свет не может проникнуть, ясно, что свет, смешанный с отсутствием света, не может породить различные цвета, в которые окрашены предметы.

Так как известно, что мы видим не иначе, чем благодаря лучам, входящим в наши глаза, — нужно, чтобы лучи, которые вызывают в наших глазах ощущение красного цвета, были иными, нежели те, которые вызывают ощущения другого цвета; из этого легко понять, что каждый цвет соответствует лучам некоей определенной разновидности, которые воздействуют на орган зрения. Предмет кажется нам, например, красным в том случае, если лучи, которые от него исходят, имеют такую природу, что они вызывают в наших глазах ощущение красного цвета.

Все сводится, таким образом, к исследованию этого различия между лучами, которое приводит к тому, что одни из лучей вызывают ощущение красного цвета, а другие — соответственно других цветов. Несомненно, должно существовать большое различие между лучами, чтобы они могли вызывать столь различные ощущения в наших глазах. Но в чем могло бы заключаться это различие? Вот главный вопрос, к которому сводится суть всех наших изысканий.

Первое, что приходит в голову: различие между лучами в том, что одни из них сильнее, чем другие. Нет никакого сомнения, что лучи Солнца или какого-нибудь другого тела, сильно светящегося или ярко освещенного, значительно сильнее, чем те, которые приходят от тела, мало освещенного или обла-

* См. письма 27, 28, 31 первого тома.

дающего слабым свечением; наши глаза в каждом из этих случаев испытывают очень разное воздействие.

Исходя из этого, можно было бы заподозрить, что различия в цвете обусловлены различиями в силе лучей; так, самые сильные лучи порождают, допустим, красный цвет, менее сильные — желтый и далее зеленый и синий.

Но нет ничего легче, чем опровергнуть это предположение, потому что мы знаем по опыту, что цвет каждого предмета представляется нам всегда одним и тем же, будь этот предмет освещен сильнее или слабее,¹ т. е. сильны его лучи или слабы. Красный предмет, например, кажется неизменно красным независимо от того, находится он на ярком солнечном свете или в темном месте, где лучи, естественно, весьма слабы. Следовательно, причину того, что предметы окрашены по-разному, следует искать отнюдь не в градациях силы лучей: один и тот же цвет может быть представлен как лучами очень сильными, так и очень слабыми. Самое слабое освещение открывает нам различия в цвете столь же хорошо, как и самый ослепительный свет. Поэтому совершенно необходимо, чтобы существовало еще какое-нибудь различие между лучами, которое характеризовало бы их природу именно по признаку цвета. А чтобы вскрыть это различие — В. В. несомненно согласится с этим, — нужно хорошо знать происхождение и природу лучей (или того, что способно входить в наши глаза и вызывать зрительные ощущения — это описание, или определение, луча наиболее правильно, потому что луч — не что иное, как то, что входит, как я говорил, в глаз через зрачок и вызывает в нем ощущение).

Я уже имел честь говорить В. В., что есть только две системы, или теории, объясняющие происхождение и природу лучей. Одна из них — это теория Ньютона, который считает лучи корпускулярными эманациями, исходящими от Солнца и других светящихся тел; и другая теория, которую я пытался доказать В. В. и автором которой считают меня,² хотя и до меня другие высказывали мысли более или менее сходные. Может быть, мне удалось поднять эту теорию на более высокую ступень убедительности. Итак, нужно показать, на каких принципах, в соответствии с той или другой теорией, можно было бы обосновать различия в цвете предметов.

По гипотезе о корпускулярном излучении, предполагающей, что лучи истекают из светящихся тел подобно рекам или, лучше сказать, бьют фонтаном во все стороны, требуется, чтобы выброшенные частицы различались или по величине, или по составу, подобно тому как фонтан мог бы извергать вино, оливковое масло или какую-нибудь иную жидкость; так что причина различий в цвете должна лежать в различиях между тонкими субстанциями, которые вылетают из светящегося тела. Так, одна субстанция, выброшенная светящимся телом, — это красный цвет, другая — желтый, и так же все остальные цвета. Это объяснение могло бы раскрывать довольно убедитель-

* См. письма 27 и 28 первого тома.

но происхождение различий в цвете, если бы сама эта теория имела право на существование.

В следующем письме я буду иметь честь написать об этом В. В. более подробно.

2 июня 1761 г.

Письмо 134

Размышления об аналогии между светом различных цветов и звуками

Возможно, В. В. помнит те доводы, которые я приводил, чтобы опровергнуть гипотезу о корпускулярном истечении света;* они представляются мне достаточно сильными, чтобы физика отказалась от этой теории. Мне удалось также убедить многих выдающихся физиков, которые восприняли мое мнение с большим удовлетворением.¹

Лучи света — это отнюдь не корпускулярная эманация Солнца и других светящихся тел, и они не являются тонкой субстанцией, которая якобы вылетает из Солнца и прибывает к нам с тою ужасающей скоростью, коей В. В. вполне резонно были удивлены. Это был бы поистине страшный поток, если бы лучи прилетали от Солнца к нам менее чем за 8 минут; и самое вещество Солнца, каким бы огромным ни было светило, скоро было бы исчерпано.²

По моей теории, солнечные лучи, которые мы ощущаем здесь, никогда не были на Солнце; это не что иное, как частички эфира, которые находятся везде вокруг нас, но приведенные в колебательное движение, сообщенное им подобным же колебанием самого Солнца; однако положения своего они при этом заметным образом не меняют. Распространение света происходит подобно тому, как звук порождается звучащими телами.³ Если В. В. слышит звук колокола, то это не потому, что колокол испускает частицы, которые входят в уши. Достаточно дотронуться до колокола после того, как в него ударили, чтобы убедиться, что все его части сотрясаемы дрожью, очень заметной. Это движение передается затем частицам воздуха, все более отдаленным, так что все частицы воздуха, одна за другой, получают от этого подобное же сотрясение, которое, войдя в ухо, вызывает в нем ощущение звука. Не убеждают ли нас в этом струны музыкального инструмента? Можно видеть, как они дрожат или ходят туда и обратно; можно даже рассчитать, сколько колебаний делает каждая струна за секунду, и, поскольку такое же колебание сообщается частицам воздуха, находящимся по соседству с органом слуха, они ударяют в наше ухо в точности столько же раз за секунду, и восприятие этого содрогания составляет сущность звука, который мы слышим. Чем большее число колебаний производит за секунду

струна, тем звук выше и пронзительнее, в то время как вибрации менее частые порождают низкие звуки.

Всем явлениям, относящимся к слуху, можно найти полную аналогию в явлениях оптических. Различаются только среда, в которой происходят колебания, и их частота. В случае звука среда — воздух, через который передаются колебания звучащих тел; в случае света это — эфир, или среда, несравненно более тонкая и упругая, чем воздух, которая находится всюду, где воздух и плотные тела оставили свободные промежутки.

Итак, каждый раз, когда этот эфир приводится в состояние сотрясения, или вибрации, и оно переносится в глаз, эта вибрация вызывает зрительное ощущение, которое, таким образом, есть не что иное, как подобное же сотрясение, колеблющее мельчайшие нервные волокна глазного дна.

В. В. с легкостью поймет, что ощущения должны быть различными в зависимости от того, какова частота этой вибрации, т. е. от того, больше или меньше число колебаний, происходящих за одну секунду. От этого должно получаться различие, подобное тому, какое имеет место среди звуков, если колебания, совершившиеся за секунду, были более частыми или более редкими. Оно очень заметно для нашего уха, поскольку от этого различия зависит, высокий звук мы услышим или низкий. В. В., наверное, помнит, что звук клавиесина, обозначаемый как G, совершает около 100 колебаний в секунду, что звук D делает 112, звук E — 125, звук F — 133, звук G — 150, звук A — 160, звук H — 187 и звук C — 200. Так различная природа звуков зависит от количества колебаний, совершающихся за секунду.⁴

Поэтому нет никакого сомнения, что зрительное чувство также возбуждается по-разному, в соответствии с тем, больше или меньше число колебаний, коими раздражаются нервные волокна в глубине глаза. Когда эти волокна вибрируют 1000 раз в секунду, ощущение должно быть совсем иным, чем если бы они вибрировали 1200 или 1500 раз за то же время.

Конечно же, наш орган зрения не в состоянии сосчитать эти огромные числа — еще в меньшей степени, чем наше ухо может подсчитать колебания, из которых состоят звуки; но мы всегда прекрасно можем отличить большее от меньшего.

Именно в этом следует искать причину различий в цвете, и несомненно, что каждый цвет соответствует определенному числу колебаний, ударяющих за одну секунду волоконца в наших глазах, хотя мы еще не в состоянии определить число, соответствующее каждому цвету, как мы это можем сделать в случае звуков.

Потребовалось множество изысканий, чтобы постигнуть, какие числа соответствуют каждому звуку клавиесина, хотя о том, что различия между этими звуками основаны на различиях между этими числами, было известно ранее. Поэтому мы должны удовольствоваться пониманием того, что цветовые различия основаны на различиях в числе колебаний, несомых лучами, и в любом случае наше познание в достаточной мере шагнуло вперед уже потому, что

мы знаем, сколь прекрасное подобие существует между звуками клавесина и цветом.⁵

Вообще мы наблюдаем столь достойную восхищения аналогию между тем, как мы слышим и как мы видим, что знание природы одного из этих чувств служит нам для объяснения другого. Именно эта аналогия поставляет наиболее убедительные доводы, подтверждающие мою систему. Однако я буду иметь честь особо подкрепить свое мнение о цвете доводами, еще более основательными, которые сделают это мнение совершенно неуязвимым для каких бы то ни было сомнений.

6 июня 1761 г.

Письмо 135

Продолжение этих размышлений

Ничто не может быть более подходящим для того, чтобы просветить нас насчет природы зрения, чем прекрасная аналогия, почти всегда обнаруживаемая между зрением и слухом. Чем являются для слуха различные музыкальные тоны, тем цвета служат для зрения. Цвета отличаются друг от друга по тому же принципу, что низкие и высокие звуки. Так, мы знаем, что высота звука зависит от числа колебаний, воздействующих на орган слуха за некоторое время, и что природа каждого звука задается определенным числом, которое означает количество колебаний, совершившихся за секунду; из этого я заключил, что каждый цвет также связан с определенным числом колебаний, воздействующих на орган зрения.

Имеется только то различие, что колебания, которые вызывают звук, происходят в грубом воздухе, в то время как те, что порождают свет и цвет, передаются средой, несравненно более тонкой и упругой, чем воздух. То же относится и к объектам тех и других ощущений.

Объектами слуховых ощущений являются все предметы, способные издавать звуки, т. е. те, что подвержены колебательным движениям, которые, передаваясь воздуху, вызывают затем в нашем органе ощущение некоего звука, соответствующего частоте колебаний.

Таковы музыкальные инструменты; в клавесине — мы будем говорить о нем — каждую струну называют по определенному звуку, который она издает, когда по ней ударяют. Так, одну струну по ее звуку называют С, другую — D и т. д. Струну называют С, если ее натяжение и свойства таковы, что, когда ударяют по ней, она совершает около 100 колебаний в секунду; если бы она давала больше или меньше колебаний за то же время, она называлась бы по наименованию другого звука, более высокого или более низкого.

В. В. припомнит, наверно, что звук струны зависит от трех условий: во-первых — от ее длины; во-вторых — от ее толщины; в-третьих — от силы,

с которой она натянута, и чем больше она натянута, тем выше звук. Поэтому пока струна сохраняет свое состояние, она сохраняет звучание, но как только она претерпевает какое-нибудь изменение, она изменяет и звук.

Приложим все это к предметам как объектам нашего зрения. Мельчайшие частицы, которые образуют ткань их поверхности, могут рассматриваться как натянутые струны, поскольку они наделены некоторой упругостью и массой, так что если ударить по ним соответствующим образом, они получают от этого колебательное движение; таких колебаний они будут совершать некоторое количество в секунду, и именно от этого количества зависит цвет, который мы приписываем этому предмету. Поэтому предмет красный, если частицы его поверхности имеют такое натяжение, что, будучи приведены в сотрясение, они делают именно столько колебаний в секунду, сколько нужно, чтобы вызвать у нас ощущение красного цвета. Другая степень натяжения, которая сделала бы колебания более быстрыми или более медленными, вызвала бы тем самым ощущение какого-нибудь другого цвета, и тело было бы в этом случае желтым, или зеленым, или синим и т. д.

Мы еще не имеем возможности приписать каждому цвету определенное число колебаний, которые составляют его сущность; и мы не знаем даже, какие цвета требуют большей, а какие — меньшей скорости колебательного движения, или, что то же самое, еще не решено, какие цвета соответствуют низким звукам, а какие — высоким. Но достаточно знать, что каждый цвет связан с определенным числом колебаний, хотя это число нам неизвестно, и что нужно только изменить натяжение или упругость мельчайших частиц, устилающих поверхность предмета, чтобы заставить его изменить цвет.

Так, мы видим, что самые великолепные краски цветков вскорости изменяются и исчезают, и причина этого лежит, очевидно, в недостатке питательного сока, от чего мельчайшие частицы теряют свою крепость или напряжение. Подобная же причина наблюдается и при всяких иных изменениях цвета.

Чтобы сделать все это совсем ясным, предположим, что ощущение красного цвета требует такой скорости колебательных движений, что их происходит 1000 в секунду; что для оранжевого их требуется 1125, для желтого — 1250, зеленого — 1333, синего — 1500 и фиолетового — 1666; так как, хотя числа безусловно неверны, это не наносит ущерба моей идее. Все, что я бы ни сказал об этих неверных числах, точно так же можно будет сказать об истинных числах, если они когда-нибудь, быть может, станут известны.¹

Коль скоро это так, то предмет будет красным, если мельчайшие частицы его поверхности предрасположены к тому, что, будучи приведены в колебание, они будут совершать 1000 колебаний в секунду; другой предмет будет оранжевым, если его частицы предрасположены давать 1125 колебаний в секунду, и т. д. Из этого легко понять, что имеется бесконечное количество оттенков, промежуточных между основными шестью цветами, которые я перечислил

выше; и из этого видно также, что если бы предмет был таким, что его частицы, приведенные в сотрясение, колебались бы 1400 раз в секунду, тело имело бы цвет, промежуточный между зеленым и синим, ибо зеленый соответствует числу 1333, а синий — числу 1500. Таким образом, наши знания о цвете являются несравненно более совершенными, чем представления толпы и даже философов, из коих те, кто считает себя наиболее проницательным, заблуждаются до такой степени, что считают цвета чистым обманом чувств, отказывая им в какой бы то ни было реальности.

9 июня 1761 г.

Письмо 136

О вопросе, каким образом темные тела становятся нам видимы

В. В. не найдет никаких несообразностей в идее, которую я только что обосновал, относительно окрашенных предметов. Мельчайшие частицы, которыми покрыты поверхности всех предметов, всегда обладают некоторой степенью упругости, делающей их способными к колебательному движению подобно струне, которая всегда способна издать определенный звук. Именно количество колебаний в секунду, на которые способны эти частицы, определяет качество цвета.

В случае, если частицы поверхности слишком расслаблены, чтобы прийти в такое колебание, предмет будет черным, потому что чернота есть не что иное, как недостаток света, и все тела, от которых ни один луч не попадает в наши глаза, кажутся нам черными.

Я подошел сейчас к одному очень важному вопросу, который вполне мог бы вызвать у В. В. некоторые сомнения. Спрашивается, по какой причине сотрясаются частицы, в которых заключены краски предметов, и что приводит их в колебательное движение, порождающее затем лучи того же цвета?

В самом деле, все сводится к тому, чтобы найти действующее начало, способное произвести сотрясение. Ибо как только вышеупомянутые частицы будут приведены в колебательное движение, эфир, находящийся в воздухе, получит от них первым делом подобное же сотрясение, которое, проникнув в наши глаза, и составит то, что мы называем «лучами»; этим и возбуждается зрение.

Замечу прежде всего, что частицы предметов не приходят в движение сами собой, но для этого нужна посторонняя сила, так же как натянутая струна пребывала бы все время в покое, если бы на нее не воздействовала никакая сила. В таких условиях находятся все предметы ночью или в темноте, так как, поскольку мы их не видим, это верный признак того, что

они не порождают лучей и что их частицы пребывают в покое; иначе говоря, ночью или в темноте предметы находятся в том же состоянии, что и струны музыкального инструмента, на котором не играют или который не издает никакого звука, в то время как если тела видимы, их подобает сравнивать со звучащими струнами.

Поскольку же тела становятся видимыми после того, как их осветили, или после того, как на них упали лучи Солнца или какого-нибудь другого светящегося тела, необходимо, чтобы та же причина, которая несет им свет, побуждала их мельчайшие частицы к колебательному движению, способному породить лучи и возбудить в наших глазах зрительное ощущение. Значит, это лучи света, падая на предмет, заставляют дрожать мельчайшие частицы, чтобы сделать их видимыми.

Поначалу это кажется очень удивительным, потому что, подставляя руки самому сильному свету, мы не получаем от него никаких ощущений. Но следует принять во внимание, что наше чувство осязания слишком грубо, чтобы отметить столь тонкие и легкие ощущения, в то время как на зрение, несравненно более чувствительное, они воздействуют сильно; это доставляет нам неоспоримые доказательства того, что лучи света, когда они падают на какой-нибудь предмет, имеют достаточно силы воздействовать на мельчайшие частицы, чтобы заставить их дрожать. Именно в этом состоит явление, которое мне нужно объяснить, — как тела, будучи освещены, становятся способными сами производить лучи, благодаря которым они делаются видимыми. Достаточно, чтобы тела были освещены Солнцем или на них упал какой-нибудь другой свет, чтобы их мельчайшие частицы были этим приведены в колебание и сами получили способность порождать лучи, которые делают их видимыми для нас.

Прекрасная гармония между слухом и зрением поднимает это объяснение на самую высокую ступень достоверности. Достаточно подвергнуть клавишам воздействию каких-нибудь громких звуков, и мы не только увидим, что его струны приводятся этим в колебание, но и услышим звук каждой из них почти так же, как если бы ее в самом деле коснулись. Механизм этого явления тоже легко понять, если знать, что приведенная таким образом в колебание струна способна сообщать воздуху подобное же колебательное движение, которое, будучи передано в ухо, вызывает в нем ощущение звука, издаваемого этой струной.

Как струна вызывает в воздухе некое движение, так и движение воздуха тоже может подействовать на струну и заставить ее дрожать. Поэтому раз очевидно, что звуки способны привести в движение струны клавесина, чтобы заставить их резонировать, то уместно предположить то же самое в случае объектов нашего зрения.

Окрашенные предметы подобны струнам клавесина, а цвета — звукам, различающимся по высоте. Свет, которым эти предметы освещены, подобен звуку, действующему на клавесин; и как эти звуки воздействуют на струны, так

свет, коим освещен предмет, будет воздействовать подобным же образом на мельчайшие частицы на поверхности этого предмета, и, заставляя их совершать колебания, он тем самым порождает лучи, как если бы эти частицы были светящимися, поскольку свет — не что иное, как колебательное движение мельчайших частиц тела, сообщенное эфиру, который затем передает его в глаза.

После этого объяснения мне кажется, что все сомнения, которые еще могли быть у В. В. относительно моей теории цвета, должны исчезнуть. По крайней мере, я льщу себя тем, что столь же хорошо обосновал истинный принцип различий между цветами, как и объяснил, почему эти цвета становятся видимы для нас только благодаря свету, которым освещаются тела, — если сомнения не относятся к какому-нибудь другому предмету, которого я не затронул.

13 июня 1761 г.

Письмо 137

О чудесных свойствах человеческого голоса

Когда я имел честь излагать В. В. теорию звуков, я рассматривал только двоякое различие между ними: первое относилось к силе звуков, по поводу чего я отметил, что звук тем сильнее, чем неистовее колебания, которые он порождает в воздухе; поэтому грохот пушки или звук колокола сильнее, чем звук струны или человеческого голоса.

Другое различие совершенно не зависит от первого и относится к высоте звуков; оценивая его, мы можем сказать, что одни звуки высокие, а другие — низкие. Относительно этого различия я отметил, что оно зависит от количества колебаний, которые совершаются за определенное время, например за секунду, так что чем больше это число, тем звук выше или тоньше, а чем оно меньше, тем звук ниже.

В. В. понимает, что один и тот же тон может быть сильным или слабым; и мы видим, что *forte* и *piano*, которыми пользуются музыканты, ничего не меняют в природе звуков. Среди требований, которые предъявляются к хорошему клавесину, есть такое: все звуки должны быть более или менее одной силы,¹ и считается большим недостатком, если некоторые из струн ущипываются с большей силой, чем другие. Понятия «высокого» и «низкого» звука относятся только к простым тонам, когда колебания следуют друг за другом правильно и через равные интервалы; и только с такими звуками, которые называются простыми, имеют дело в музыке. Аккорды, которые в ней употребляются, суть сложные звуки или скопления из многих звуков, извлеченных одновременно, где между колебаниями должен существовать определенный порядок, который служит основанием гармонии. Но когда между колебаниями

не находят никакого порядка, получается смешанный шум, о котором невозможно сказать, какому звуку клавесина он соответствует, — таков, например, грохот пушки или ружья.

Но и между простыми звуками есть еще одно различие, очень заметное, которое, кажется, ускользнуло от внимания философов. Два звука могут быть одинаково сильными и соответствовать одному и тому же звуку клавесина, и несмотря на это они могут быть очень различными для слуха. Звук флейты совершенно отличен от звука валторны, даже если оба соответствуют одному и тому же звуку клавесина и одинаково сильны. Таким образом, каждый звук несет в себе нечто от инструмента, который его издает, и почти невозможно сказать, в чем заключается это качество; равным образом одна и та же струна издает различные в этом смысле звуки в зависимости от того, ударили по ней, задели или ущипнули. В. В. прекрасно умеет различать звуки валторны, флейты и других инструментов.

Наиболее удивительным разнообразием обладает человеческий голос, который являет нам самый чудесный шедевр Создателя, не говоря уже об артикуляции, которой формируется речь. Пусть только В. В. соблаговолит поразмыслить о различных гласных, которые так просто произносятся или поются ртом. Когда выговаривают или поют букву *a* — звук совсем другой, чем когда выговаривают или поют букву *e*, или *o*, или *i*, или *u*, или *ai* и т. д., хотя тон остается прежним. Значит, причину этого различия следует искать не в частоте или порядке колебаний; эта причина представляется столь скрытой, что философы еще не сумели ее исследовать.²

В. В. легко заметит, что, желая произнести различные гласные, нужно придавать ротовой полости различную форму, к чему наш рот приспособлен в отличие от ртов всех животных. Поэтому мы видим, что те птицы, которые научаются подражать человеческому голосу, никогда неспособны отчетливо произносить различные гласные; это всегда лишь очень несовершенное подражание.

Многие органы имеют регистр, который называется «человеческим голосом». Обычно это звуки, которые воспроизводят только гласные *ai* или *ae*. Не сомневаюсь, что, произведя в этих органах некоторые изменения, можно было бы издавать звуки, соответствующие другим гласным — *a*, *e*, *i*, *o*, *u*, *ou*, — но всего этого недостаточно, чтобы воспроизвести одно-единственное слово человеческой речи; как же смогли бы мы добавить еще и согласные, которые в какой-то мере являются модификациями гласных? Наш рот сложен столь удивительно, что, хотя все пользуются им, мы почти ничего не можем узнать о его истинном устройстве.

Мы хорошо различаем три органа, действующих при произнесении согласных: губы, язык и небо; но и нос участвует в этом в значительной степени. Закрыв нос, нельзя произнести *m* и *n*; в этом случае слышится только *b* и *d*. Веским доказательством чудесного устройства нашего рта, которое делает его способным произносить слова, служит то, что человеческое искусство до сих

пор не умеет имитировать его при помощи каких-либо машин. Пение имитируется отлично, но без всякой артикуляции звуков; гласные не различаются. Было бы несомненно одним из самых значительных изобретений — построить машину, которая была бы способна воспроизводить с полной артикуляцией все звуки нашей речи.³ Если бы когда-нибудь сумели создать такую машину и были в состоянии заставить ее произносить все слова, касаясь ее определенным образом, как это делают с органом или клавесином, все справедливо удивились бы, услышав, как машина произносит целые речи или проповеди, исполнять которые можно было бы сколь угодно изящно. Проповедники или ораторы недостаточно сильным или не слишком приятным голосом могли бы в этом случае исполнять свои проповеди или речи на такой машине в точности так же, как органисты играют музыкальные произведения. Это мне не кажется невозможным.

16 июня 1761 г.

Письмо 138

Краткий очерк основных электрических явлений

Предмет, о котором я хотел бы побеседовать с В. В., внушает мне почти что страх. Его разнообразие поразительно, и перечисление фактов может скорее ослепить нас, чем просветить. Я говорю об электричестве, которое с некоторых пор стало столь важной физической проблемой, что не знать его проявлений уже почти непозволительно никому.

Я не сомневаюсь, что В. В. часто случалось слышать о нем, хотя и не знаю, доводилось ли В. В. наблюдать электрические опыты. Все физики говорят о них теперь с большим воодушевлением и чуть ли не каждый день открывают новые явления, одно описание которых заполнило бы многие сотни писем; и, может быть, я бы никогда и не кончил.

Вот затруднение, в котором я нахожусь. Я не хотел бы оставить В. В. в неведении относительно столь существенного раздела физики; но я не хотел бы и наскучить В. В. многословным описанием всех явлений; оно, помимо всего прочего, не доставило бы истолкования этого предмета, чего В. В. имеет право ожидать. Лышу себя, однако, тем, что нашел путь, следуя которому, я надеюсь до такой степени ознакомить В. В. с этой запутанной проблемой, что В. В. с легкостью достигнет знания, значительно более совершенного, нежели имеют большинство физиков, работающих денно и нощно, исследуя эти загадки природы.

Не задерживаясь на том, чтобы представить В. В. все электрические явления и проявления, что, безусловно, вовлекло бы меня в подробное описание, столь же длинное, сколь и скучное, в конце которого мы не оказались бы

ближе к правильному пониманию причин, производящих все эти явления, я пойду совершенно противоположным путем и начну объяснять В. В. истинный принцип природы, на котором основаны все эти явления, сколь бы они ни казались разнообразными, и из которого их все можно вывести без малейшего затруднения.

Для этого довольно отметить вообще, что электричество производят, хорошенько потерев стеклянную трубку. Именно таким способом трубка становится электрической: теперь она будет попеременно притягивать и отталкивать легкие предметы, которые к ней подносят; и, когда к ней приближают другие предметы, видно, как между нею и этими предметами проскакивают искры, которые, если сделать их посильнее, поджигают спирт и другие горючие вещества. Когда до этой трубки дотрагиваются пальцем — сверх того что из нее вылетает искра, ощущают укол, который может при определенных обстоятельствах стать столь сильным, что от него чувствуется содрогание во всем теле.

Вместо стеклянной трубки пользуются также стеклянным шаром, который вращают вокруг оси, как на токарном станке. Во время этого движения его натирают рукой или прикладывая к нему прокладку, после чего шар становится столь же электрическим и производит такие же явления, что и трубка.

Помимо стекла, смолистые вещества, такие как сургуч, а также сера, имеют это же свойство становиться электрическими благодаря трению. Но трение может сделать электрическими только некоторые вещества; самые важные из них — стекло, сургуч и сера. Что касается других предметов, то можно тереть их сколько угодно — не будет заметно ни малейшего признака электричества. Но когда их приближают к первым (после того, как те сделались электрическими), они поначалу приобретают то же свойство. Таким образом, эти предметы становятся электрическими путем передачи, потому что достаточно прикосновения, а иногда и одного только соседства электрических предметов, чтобы сделать их такими же.

Исходя из этого все предметы делят на два класса: первый включает предметы, которые путем натирания делаются электрическими, а другой — те, которые становятся наэлектризованными через передачу и на которые трение не производит никакого воздействия. Весьма примечательно, что предметы, относящиеся к первому классу, не получают никакого электричества через передачу; когда к сильно наэлектризованной стеклянной трубке подносят другие стекляшки или другие предметы, которые могут сделаться электрическими от натирания, это прикосновение не передает им никакого электричества. Поэтому различение этих двух классов предметов становится особенно достойным внимания, так как одни из них способны становиться электрическими посредством натирания, но отнюдь не через передачу, а другие, напротив, становятся электрическими не иначе как через передачу, но отнюдь не посредством натирания.

Все металлы относятся к этому второму классу, и передача идет столь далеко, что, когда подносят конец проволоки к наэлектризованному предмету, другой ее конец тоже становится электрическим, какой бы длинной ни была эта проволока; и если приложить еще одну проволоку к дальнему концу первой, электричество распространится на всю длину этой другой проволоки, так что таким способом можно передавать электричество на самые большие расстояния.

Вода — тоже вещество, которое легко получает электричество путем передачи. Удавалось наэлектризовать целый пруд, так что, когда к нему приближали палец, видно было, как из него выскакивали искры, и чувствовалась боль.

Кроме того, теперь не вызывает сомнений, что молнии и гром — не что иное, как проявления электричества облаков, которые по какой-то причине стали электрическими. Гроза являет нам в крупном масштабе те же электрические феномены, которые физики демонстрируют в малом — в своих опытах.

20 июня 1761 г.

Письмо 139

Об истинном начале природы, на котором основаны все электрические явления

Краткое изложение основных электрических явлений, которое я собираюсь сделать, безусловно пробудит любопытство В. В. к скрытым силам природы, способным производить столь удивительные эффекты.

Большинство физиков признают свое неведение в этой области. Они, по-видимому, столь ослеплены бесконечным разнообразием, которое всякий день раскрывается перед ними, и чудесными обстоятельствами, сопутствующими этим явлениям, что теряют смелость посягнуть на исследование их истинной причины. Они утверждают, что существует некая тонкая субстанция, которая служит первичным действующим началом этих явлений и которую они называют электрической материей, но столь затрудняются определить ее природу и свойства, что целый большой раздел физики становится от этого скорее более запутанным, нежели проясняется.

Нет никакого сомнения, что источник всех электрических явлений следует искать в некоей текучей тончайшей субстанции,* но у нас нет необходимости измышлять таковую при помощи воображения. Той же самой тонкой субстанции, которую называют эфиром и реальность которой я уже доказал В. В.,* достаточно, чтобы объяснить очень естественным образом

* Обратитесь к письму 19.

все странные явления, наблюдаемые нами в области электричества. Я надеюсь так ознакомить В. В. с этой субстанцией, что не останется более ни одного электрического явления, каким бы оно ни было причудливым, объяснение которого могло бы затруднить В. В.

Все дело только в том, что нужно хорошо знать природу эфира. Воздух, которым мы дышим, распространяется лишь на некоторую высоту над Землей и чем выше подняться, тем он становится реже и наконец пропадает вовсе. Нельзя сказать, что над воздухом находится совершенная пустота, занимающая все огромное пространство, которое лежит между небесными телами. Лучи света, распространяющиеся от всех небесных тел во всех направлениях, убедительно доказывают нам, что все эти пространства заполнены некоей тонкой субстанцией.

Если лучи света являются корпускулярными эманациями светящихся тел, как утверждали некоторые философы, то из этого следовало бы, что все небесные пространства заполнены этими лучами, которые пересекают их с огромной скоростью. В. В. достаточно вспомнить ужасающую скорость, с которой приходят к нам лучи Солнца. По этой гипотезе не только не будет никакой пустоты, но все пространство будет заполнено некоей тонкой материей, находящейся в сильнейшем движении.

Но я надеюсь, что доказал достаточно убедительно: лучи света являются корпускулярными эманациями, вылетающими из светящихся тел, не более чем звук — эманацией тела звучащего. Скорее очевидно, что лучи света — не что иное, как сотрясение или колебание тонкой субстанции, так же как звук, который состоит из подобных же колебаний, вызванных в воздухе. И точно так же как звук порождается и передается воздухом, свет порождается и передается субстанцией, значительно более тонкой, которую называют эфиром и которая, следовательно, заполняет все пространства между небесными телами.

Эфир, таким образом, является средой, способной порождать лучи света, и это — то самое качество, которое позволяет нам лучше узнать природу и свойства эфира. Нам остается только поразмыслить над свойствами воздуха, которые делают его способным порождать и передавать звук; главная причина — в его эластичности или упругости. В. В. знает, что воздух имеет свойство распространяться во всех направлениях и что он расширяется тотчас же, как только убраны препятствия. Воздух находится в покое лишь тогда, когда его упругость всюду одинакова; как только она в каком-то месте больше, чем в других, воздух тотчас начнет растекаться оттуда. Опыт дает нам увидеть также, что, чем сильнее воздух сжимают, тем более увеличивается его упругость; именно отсюда берется сила воздушных ружей: воздух, сжатый в них с большой силой, способен вытолкнуть пулю из ствола с большой скоростью. Противоположный эффект получается, когда воздух разрежают: его упругость становится тем меньшей, чем он более разрежен или рассеян в большем пространстве.

Упругость воздуха, зависящая от его плотности, определяет скорость звука, который пробегает расстояние около тысячи футов в секунду. Если бы упругость воздуха была большей при той же плотности, скорость звука была бы больше; и то же самое получилось бы, если бы воздух был более редким или менее плотным, а его упругость оставалась той же.

В общем, чем более упруга некая среда, подобная воздуху, и чем менее она в то же время плотна, тем быстрее будут передаваться колебания, в ней произведенные. Поскольку свет передается во столько тысяч раз быстрее, чем звук, необходимо, чтобы эфир, т. е. та среда, чьи колебания и являются светом, была во много тысяч раз более упругой, чем воздух, и одновременно во много тысяч раз более легкой или тонкой, так как и то и другое в равной мере способствуют увеличению скорости распространения света.

Из этого В. В. поймет, почему эфир полагают во много тысяч раз более упругим и в то же время во много тысяч раз более нежным, чем воздух; в остальном он по своей природе сходен с воздухом — эфир тоже является текучей субстанцией, способной как к сжатию, так и к разрежению. Именно это свойство приведет нас к объяснению всех электрических явлений.

23 июня 1761 г.

Письмо 140

Продолжение, и особенно о различном свойстве тел относительно электричества

Эфир, будучи субстанцией нежной и подобной воздуху, но во много тысяч раз более легкой и упругой, не может находиться в покое иначе, как при условии, что его упругость, т. е. способность распространяться, будет повсюду одинаковой.

Как только эфир окажется в каком-то месте более упругим, а это бывает, когда он где-то сжат более, чем в окрестности, он тут же начнет расширяться, сжимая эфир вокруг до тех пор, пока не достигнет всюду одной и той же упругости. В этом случае говорят, что он находится в равновесии; равновесие — не что иное, как состояние покоя, когда силы, которые стремятся его нарушить, взаимно уравновешены.

Поэтому, когда эфир не находится в равновесии, с ним должно происходить то же, что и с воздухом, когда его равновесие нарушено, т. е. он должен распространяться из того места, где его упругость наибольшая, туда, где она меньше; но вследствие большей упругости и тонкости эфира это движение должно быть намного стремительнее, чем у воздуха. Отсутствие равновесия в воздухе порождает ветер, посредством которого воздух переносится из одного места в другое; если равновесие эфира будет нарушено, тоже получается своего рода ветер, несравненно более нежный, посредством которого эфир переходит

из мест, где он был более сжат и более упруг, в места, где его упругость меньше.

Если это так, я осмелюсь утверждать далее, что все электрические явления — естественное следствие отсутствия равновесия эфира, так что всюду, где равновесие эфира нарушено, из этого должны проистекать электрические явления; иными словами, я утверждаю, что электричество — не что иное, как нарушение равновесия эфира.

Чтобы разобраться во всех проявлениях электричества, нужно принять во внимание, каким образом эфир перемешан со всеми предметами, которые нас окружают, и облекает их. Эфир здесь находится только в крохотных промежутках, которые остаются между частичками воздуха и других тел. Нет ничего более естественного, чем то, что эфир — по причине своей чрезвычайной тонкости и упругости — проникает в самые мелкие поры всех предметов, куда воздух не мог бы войти, и даже в поры самого воздуха. В. В. вспомнит, наверное, что все тела, какими бы они ни были твердыми, изобилуют такими порами, и многие опыты неопровержимо доказывают, что в любом предмете поры занимают значительно больше места, чем плотные части; наконец, чем меньше весит тело, тем в большей степени оно должно быть занято этими пустотами, которые не содержат ничего, кроме эфира; из этого становится ясно, что, хотя эфир столь раздроблен по мельчайшим пустотам вещества, в окрестностях Земли он должен находиться в огромных количествах.

В. В. с легкостью поймет, что должно существовать очень большое различие между этими порами — как по размерам, так и по форме — в соответствии с природой веществ, потому что различие между веществами, вероятно, зависит от различий между их порами. Поэтому существуют, несомненно, поры, более замкнутые, мало сообщающиеся с другими, так что содержащийся в них эфир менее свободен и высвобождается оттуда лишь с большим трудом, даже если упругость его значительно больше, чем у эфира, находящегося в соседних порах. Напротив того, бывают поры достаточно открытые и свободно сообщающиеся с соседними. Ясно, что эфир, который находится в этих порах, не удерживается в них так прочно, как в предыдущем случае, и если он сжат сильнее или слабее, чем в соседних порах, то скоро придет в равновесие.

Чтобы различать эти две разновидности пор, я назову первые закрытыми, а вторые — открытыми. Чаще тела окажутся наделенными порами промежуточного характера, которые можно будет обозначить более или менее закрытыми и более или менее открытыми.

Коль скоро это так, я замечу сначала, что, если бы все предметы имели поры совершенно закрытые, было бы невозможно изменять упругость эфира, который в них заключен; и если бы даже эфир в некоторых из этих пустот приобрел по какой-либо причине большую упругость, чем в других, то, поскольку всякое сообщение с другими порами для него исключено, он навсегда остался бы в этом состоянии и никогда не вернулся бы в равновесие.

Следовательно, в этом случае предметы не претерпевали бы никаких изменений; все оставалось бы в одном и том же состоянии, как если бы эфир был в равновесии, и никакое электрическое явление не могло бы иметь места.

То же самое произошло бы, если бы все поры всех веществ и предметов были совершенно открытыми; так как в этом случае если бы даже эфир в некоторых порах был сжат сильнее или слабее, чем в других, то благодаря совершенно свободному сообщению между порами равновесие восстановилось бы мгновенно и столь быстро, что мы не смогли бы заметить ни малейших изменений. По той же причине было бы просто невозможно нарушить равновесие эфира, находящегося в таких порах; каждый раз как нарушалось бы его равновесие, оно в тот же миг восстанавливалось бы и нельзя было бы обнаружить никаких признаков электричества. Но так как поры всех веществ не являются ни совершенно закрытыми, ни совершенно открытыми, то всегда возможно нарушить равновесие эфира, содержащегося в порах, а когда это происходит по какой бы то ни было причине, то и равновесие не преминет восстановиться. Однако для восстановления потребуется сколько-то времени, и за это время должны произойти некоторые явления. В. В. вскоре увидит с большим удовлетворением, что эти явления — как раз те самые, что открываются нашим глазам в электрических опытах. Тогда В. В. согласится, что начала, на которых я основываю теорию электричества, очень просты и совершенно доказаны.

27 июня 1761 г.

Письмо 141

О том же

Я надеюсь, что к настоящему времени мною преодолены самые большие затруднения, с которыми сталкиваются в теории электричества. В. В. нужно только придерживаться идеи эфира, которую я обосновал выше, каковой эфир есть чрезвычайно тонкая и упругая субстанция, распространившаяся не только по всем пустым пространствам мироздания, но и по самым малым пустотам всех тел, в которых она удерживается то сильнее, то слабее в зависимости от того, являются ли эти поры более закрытыми или менее. Это рассуждение приводит нас к двум основным разновидностям предметов, из коих одни имеют поры более закрытые, а другие — более открытые.

Коль скоро это так, то, если случится, что эфир, заключенный в порах предметов, не будет иметь повсюду одну и ту же степень упругости, так что в некоторых телах он будет сжат сильнее или слабее, чем в других, — он будет стремиться прийти в равновесие. Именно из этого рождаются электрические явления, которые, следовательно, тем разнообразнее, чем более различны поры предметов, в которых содержится эфир, поскольку они определяют

ему большую или же меньшую свободу сообщения с другими порами. Это различие в том, что относится к порам предметов, прекрасно соответствует различию между предметами; это позволило нам заметить уже первые электрические явления: одни предметы с легкостью электризуются единственно лишь контактом или соседством с наэлектризованным предметом, в то время как другие от этого не претерпевают почти никаких изменений. Из этого В. В. сможет прежде всего заключить, что предметы, которые с такой легкостью получают электричество путем передачи, — как раз те, у которых поры открыты; те же, что почти нечувствительны к электричеству, должны иметь поры, закрытые целиком или в значительной степени. Таким образом, именно из самих электрических явлений мы можем заключить, у каких предметов поры закрыты или открыты. По этому поводу я могу представить В. В. следующие разъяснения.

Во-первых, обычный воздух, которым мы дышим, имеет поры, почти полностью закрытые, так что эфир, который в них заключен, может выходить из них лишь с большим трудом и с такими же трудностями встречается, когда входит. Поэтому, хотя эфир, заключенный в воздухе, не находится в равновесии с эфиром, содержащимся в других телах, пребывая в нем в более или же в менее сжатом состоянии, восстановление равновесия происходит лишь с большим трудом. Это, впрочем, относится к сухому воздуху, так как влажность имеет совсем другую природу, как я отмечу вскоре.

Помимо воздуха в этот же класс веществ с закрытыми порами следует поместить стекло, вар, смолистые вещества, сургуч, серу и особенно шелк. Все эти вещества имеют столь замкнутые поры, что эфир может входить в них и выходить из них лишь с большим трудом.

Другой основной класс — вещества с открытыми порами — включает в первую очередь воду и другие жидкости, природа которых полностью противоположна таковой воздуха; в этом причина того, что воздух, когда он становится влажным, полностью изменяет свои свойства в том, что относится к электричеству, поскольку тогда эфир может входить в него и выходить почти без всяких затруднений. К этому же классу тел с открытыми порами следует отнести все металлы и тела животных.

Что касается других предметов, таких как дерево, многие камни и грунты, они имеют природу, промежуточную между двумя основными разновидностями, о которых я только что говорил, и движение эфира — и тогда, когда он проникает в них, и тогда, когда он из них выходит, — затруднено в большей или меньшей степени в зависимости от природы, присущей предмету.

После этих разъяснений о различиях природы предметов в том, что относится к эфиру, который в них заключен, В. В. увидит с большим удовлетворением, как все электрические явления, на которые взирают как на чудеса, вполне естественно вытекают из этих различий.

Все зависит от состояния эфира, проникшего в поры всех предметов, распыленного в них, — зависит в той мере, в какой он не имеет повсюду одну

и ту же степень упругости, т. е. сжат в большей степени в одних телах, чем в других, так как в этом случае эфир, не находясь в равновесии, будет стремиться его восстановить. Из мест, где он слишком сжат, он будет пытаться освободиться, насколько это позволяют отверстия пор, и это будет продолжаться, пока он не достигнет повсюду одной и той же степени сжатия и упругости, чтобы пребывать в равновесии.

Здесь я замечу в первую очередь, что, когда эфир переходит из одного предмета, в котором он был сжат слишком сильно, в другой, где сжатие было меньшим, воздух между этими двумя предметами окажется для него большим препятствием по той причине, что поры воздуха почти полностью закрыты. Все же он проникнет сквозь воздух как через жидкую и очень рыхлую субстанцию, если только его сила не окажется слишком малой или расстояние между предметами слишком большим; так как это прохождение эфира сильно затруднено и почти задерживается порами воздуха, с эфиром произойдет то же самое, что с воздухом, когда его принуждают проходить с большой скоростью через небольшие отверстия: тогда слышен свист, который означает, что воздух приведен в колебательное движение, порождающее звук.

Поэтому очень естественно, что эфир, когда он принужден проходить через поры воздуха, тоже должен получать от этого своего рода колебания; В. В. вспомнит, наверное, что, подобно тому как колебания воздуха производят звук, точно так же колебания эфира суть причина света; поэтому каждый раз, когда эфир покидает один предмет, чтобы перейти в другой, его прохождение через воздух должно сопровождаться светом, который возникает то в виде искры, то в облике молнии, если количества достаточно значительны.

Вот самое примечательное обстоятельство, сопровождающее многие электрические явления, которое убедительно объясняется исходя из наших принципов. Но нужно вникнуть в подробности, что доставит мне очень приятный повод для нескольких следующих писем.

30 июня 1761 г

Письмо 142

Об электричестве положительном и отрицательном. Объяснение явления притяжения

Из изложенного мною выше В. В. с легкостью поймет, что предмет должен становиться электрическим, если эфир, который содержится в его порах, становится более или менее упругим, чем тот, что содержится в окружающих предметах. Это случается тогда, когда значительное количество эфира было введено в поры предмета или когда часть эфира, содержавшегося в них, была оттуда изгнана. В первом случае эфир становится более сжатым и потому более упругим; во втором случае он становится более разреженным и теряет

часть своей упругости. В том и другом случае он больше не находится в равновесии с наружным эфиром, и из его усилий вернуться в равновесие происходят все электрические явления.

Из этого В. В. увидит, что предмет может стать электрическим двумя различными способами — в зависимости от того, становится ли эфир, содержащийся в его порах, более упругим, чем наружный эфир, или менее. Поэтому существовать может двоякого рода электричество. Одно, когда эфир более упруг или более сжат, названо электричеством с плюсом, или положительным; другое, когда эфир менее упруг или более разрежен, названо электричеством с минусом, или отрицательным. Проявления того и другого почти одинаковы; между ними замечается лишь легкое различие, о котором я скажу позднее. В своем естественном состоянии тела не наэлектризованы, потому что упругость эфира стремится поддерживать его в равновесии. Лишь грубые воздействия нарушают равновесие эфира и делают предметы электрическими; и нужно, чтобы эти воздействия были направлены на предметы с закрытыми порами, чтобы равновесие, однажды нарушенное, не восстановилось тотчас же. Так, мы видим, что, желая возбудить электричество, пользуются стеклом, янтарем, сургучом или серой.

Средство самое доступное и самое известное уже с давних времен — это потереть палочку сургуча куском сукна, после чего наблюдают, как этот сургуч притягивает небольшие кусочки бумаги и другие легкие предметы. Янтарь, если его потереть, производит такие же явления, и, поскольку в античности этому веществу дали название «электрум», именно от него эта сила, порождаемая трением, была названа «электричеством»: самые древние физики уже наблюдали, что это вещество, если его потереть, приобретает способность притягивать к себе легкие предметы.

Это явление происходит, без сомнения, оттого, что равновесие эфира нарушено трением. Поэтому будет правильно, если я начну с объяснения этого столь обычного опыта. Пory янтapя или сургуча — довольно закрытые, а поры сукна, которым натирают, — довольно открытые. Во время натирания поры того и другого сжимаются, и тем самым эфир, который в них содержится, приводится в состояние большей упругости. В соответствии с тем, что поры сукна способны к большему или же меньшему сжатию, чем таковые янтapя или сургуча, произойдет так, что какая-то часть эфира перейдет из сукна в янтарь или, наоборот, из янтapя в сукно. В первом случае янтарь станет электрическим «с плюсом», а во втором «с минусом»; поскольку его поры закрыты, это состояние сохранится в течение некоторого времени; сукно же, хотя оно и претерпело подобное же изменение, первым вернется к своему естественному состоянию.

В результате опытов, которые проделывались с сургучом, заключили, что его электричество — «с минусом», так что некоторая часть его эфира переходит при натирании в сукно. Отсюда В. В. поймет, как палочка сургуча лишается части своего эфира при трении о шерсть и что сургуч посредством

этого становится электрическим. Посмотрим теперь, какие явления должны из этого произойти и соответствуют ли они тому, что наблюдают в действительности.

Пусть AB будет палочкой сургуча, у которого отняли трением часть эфира, содержащегося в ее порах. Остающийся эфир, поскольку он сжат в меньшей степени, будет иметь меньше силы для расширения или, что то же самое, будет иметь меньшую упругость, чем эфир, который находится в других телах и в воздухе, окружающем сургуч; но, так как поры воздуха еще более закрытые, чем поры сургуча, это мешает эфиру, содержащемуся в воздухе, перейти в сургуч, чтобы установить равновесие; во всяком случае, это произойдет не иначе, как спустя довольно значительное время.



Пусть поднесут теперь к этой палочке маленький, очень легкий предмет C , у которого поры открыты; содержащийся в нем эфир, найдя свободный выход (ибо сила, с которой он расширяется, больше, чем та, что противопоставляет ему эфир, заключенный в палочке, в месте, обозначенном c), тут же ускользнет и пробьет себе дорогу через воздух, если только расстояние не будет слишком большим, и войдет в палочку. Это прохождение, однако, осуществится не без больших трудностей, потому что поры сургуча имеют лишь очень узкие отверстия; поэтому оно не будет происходить с неистовством, способным привести эфир в колебательное движение, достаточное, чтобы породить заметный свет. Будет видно только слабое свечение в темноте, если электричество достаточно сильно.

Мы заметим другое явление, не менее удивительное, — маленький предмет C подскочит к палочке, как если бы он был ею притянут. Чтобы объяснить причину этого, В. В. следует принять во внимание, что на маленький предмет C в его обычном состоянии со всех сторон давит воздух, окружающий этот предмет. Но поскольку в состоянии, в котором он находится теперь, эфир вытекает из него и пробивается сквозь воздух по направлению Cc , то очевидно, что воздух с этой стороны будет меньше давить на маленький предмет, чем прежде, и что давление, которое толкает его по направлению c , возобладает над всеми другими давлениями и тут же подбросит его к палочке, как если бы он ею притягивался.

Именно так объясняют удобопонятным образом притяжения, наблюдаемые при электрических явлениях. В этом опыте электричество слишком слабо, чтобы произвести эффекты более удивительные. Я буду иметь честь остановиться подробнее на этих последних в дальнейшем.

Письмо 143

О том же

После робких первых шагов в изучении электрических явлений дальше продвинулись лишь недавно. Начали с того, что воспользовались стеклянной трубкой вроде тех, из которых делают барометры, но большего диаметра; ее терли голой рукой или куском сукна и тут заметили электрические явления более яркие.

В. В. с легкостью поймет, что, если натирать таким способом стеклянную трубку, часть эфира благодаря сжатию пор стекла и натирающего предмета должна перейти или из руки в стекло или, наоборот, из стекла в руку в зависимости от того, чьи поры более подвержены сжатию при трении. После этой операции эфир в руке легко возвращается в равновесие, потому что ее поры открыты, но, поскольку поры стекла довольно закрытые, эфир там сохраняет свое состояние независимо от того, перегружено им стекло или, наоборот, обеднено, и, следовательно, оно будет электрическим и будет вызывать эффекты, как с сургучной палочкой, но, конечно, значительно более сильные, потому что электричество в нем поднялось на более высокую ступень — то ли по причине больших размеров трубки, то ли по самой природе стекла.

Опыты позволяют нам сделать вывод, что таким способом стеклянная трубка перегружается эфиром, в то время как у сургуча эфир отбирается. Однако проявления в обоих случаях примерно одни и те же. Сначала нужно отметить, что стеклянная трубка сохраняет свое электричество, пока она окружена только воздухом, потому что поры как стекла, так и воздуха слишком закрыты, чтобы дать эфиру передвигаться свободно и избавить стекло от избытка эфира, увеличивающего упругость этого последнего. Но для этого нужно, чтобы воздух был очень сухим, потому что только в этом состоянии его поры хорошо закрыты: как только воздух становится влажным или насыщается паром, опыты перестают удаваться, сколько бы усилий ни прилагали, натирая стекло. Причина этого вполне очевидна: так как вода, делающая воздух влажным, имеет очень открытые поры, они вбирают в себя в каждый момент весь избыточный эфир из стекла, так что стекло остается в своем обычном состоянии. Опыты же получаются только в очень сухом воздухе. Посмотрим теперь, какие явления должна произвести такая стеклянная трубка после того, как ее хорошенько потрут.



Прежде всего ясно, что если поднести к ней маленький легкий предмет *C*, имеющий открытые поры, например листочек золота, то усилия чрезмерно упругого эфира трубки на самом близком участке *DE* освободиться и перей-

ти в поры предмета *С* не останутся напрасными. Он проложит дорогу через воздух, если расстояние не будет слишком большим, и в темноте даже будет видно свечение между трубкой и предметом; причина его — колебания, возбужденные в эфире, который с трудом переходит из трубки в предмет. Когда вместо предмета *С* к ней подносят палец, чувствуют даже укол, причиненный быстрым вхождением эфира, а если к ней приближают лицо на некоторое расстояние, то чувствуют некое колебание воздуха, вызванное передвижением эфира. Иногда слышат также легкое потрескивание, несомненно вызванное колебанием воздуха, через который с такою скоростью движется эфир.

В. В. остается только вспомнить, что колебание воздуха всегда порождает звук, а подобное же колебание эфира — свет, и причина, по которой происходят описанные выше явления, станет довольно ясной.

Но вернем малый предмет *С* в соседство нашей электрической трубки; по мере того как эфир уходит из нее, чтобы войти в поры предмета *С*, воздух оттуда будет частично изгоняться и, следовательно, не будет давить на предмет с этой стороны так сильно, как со всех других сторон; в результате получается то же, что и в предыдущем случае, — предмет *С* будет подталкиваться к трубке, и поскольку он легкий, то в самом деле приблизится к ней, из чего видно, что это кажущееся притяжение равным образом имеет место независимо от того, чрезмерно ли упруг эфир трубки или недостаточно упруг; или, что то же самое, от того, положительно или отрицательно электричество трубки. В том и в другом случае воздух стеснен передвижением эфира, который мешает ему оказывать давление. Но пока предмет *С* приближается к трубке, передача эфира становится более интенсивной и предмет вскоре будет столь же перегружен эфиром, как и сама трубка. Тогда действие эфира, которое происходило только из его упругости, прекращается полностью и предмет *С* будет теперь подвергаться со всех сторон одному и тому же давлению. Притяжение прекратится, и предмет удалится от трубки, потому что теперь нет ничего, что бы его удерживало, и его собственная тяжесть приведет его в движение. Когда же он удалится, то, поскольку поры его открыты, его излишний эфир вскорости утечет в воздух, и предмет возвратится в свое обычное состояние. Тогда трубка снова начнет действовать на него, как вначале, и мы увидим, как он снова приближается к трубке, так что он будет казаться попеременно притягивающимся и отталкивающимся от трубки; эта игра будет продолжаться до тех пор, пока трубка не потеряет свое электричество. Так как при каждом притягивании она разгружается от какой-то доли своего избыточного эфира (и, помимо того, сколько-то убегает из нее незаметно в воздух), трубка скоро вернется в свое обычное состояние и обретет равновесие. Это произойдет тем быстрее, чем трубка меньше, а предмет *С* легче; тогда электрические явления прекратятся.

Письмо 144

Об электрической атмосфере

Я чуть было не забыл поговорить об одной очень важной особенности, которая сопутствует всем электрическим телам — как положительным, так и отрицательным — и проливает яркий свет на электрические явления. Хотя поры воздуха действительно очень закрытые и не допускают почти никакого сообщения между эфиром, который в них заключен, и окружающим эфиром, содержащийся в них эфир тем не менее испытывает некоторые изменения в соседстве с электрическим предметом.



Рассмотрим сначала предмет электрический с минусом, как палочку сургуча *AB*, которую, потеряв, лишили части эфира, содержавшегося в ее порах, так что заключенный в ней эфир имеет меньшую упру-

гугость, чем в других предметах, и, следовательно, меньшую, чем эфир воздуха, окружающего сургуч. Из этого с необходимостью последует, что малая часть эфира, содержащегося в частицах воздуха, которые непосредственно касаются сургуча, как например в пункте *m*, имея больше упругости, переберется в поры сургуча и потеряет долю своей упругости. Таким же образом частицы воздуха, более удаленные, как в пункте *n*, также дадут какой-то доле своего эфира уйти в частицы, более близкие к *m*, и т. д. — до какого-то расстояния, где воздух уже не будет испытывать никаких изменений. Таким путем воздух вокруг палочки сургуча — на каком-то расстоянии — будет лишен части своего эфира и сам станет электрическим.

Этот объем воздуха, который, таким образом, вовлекается в электричество сургучной палочки, называется электрической атмосферой, и В. В. поймет, наверное, из изложенного мною выше, что каждый электрический предмет должен быть окружен атмосферой; если он — электрический с плюсом, т. е. имеет положительное электричество, так что эфир в нем находится в слишком большом избытке, то этот эфир окажется в нем более сжатым и более упругим, как это бывает в стеклянной трубке, когда ее натрут; тогда этот более упругий эфир переходит понемногу в частицы воздуха, которые его непосредственно касаются, а затем из них — в частицы более удаленные, вплоть до некоторого расстояния, что также создаст электрическую атмосферу вокруг трубки; в этой атмосфере эфир будет более сжат и, следовательно, более упруг, чем обычно.

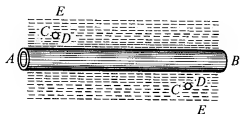
Очевидно, что эта атмосфера, которая окружает электрические предметы, должна мало-помалу уменьшать их заряд, потому что в первом случае из воздуха в электрический предмет все время просачивается какое-то количество эфира, а во втором случае эфир выходит из электрического предмета, чтобы

войти в воздух. Именно это является причиной того, что электрические тела в конце концов теряют свое электричество, и тем быстрее, чем более открыты поры воздуха. Во влажном воздухе, где поры очень открыты, все электричество исчезает почти мгновенно; однако в очень сухом воздухе оно сохраняется довольно долго.

Эта электрическая атмосфера ощущается также заметным образом, когда приближают лицо к наэлектризованному предмету; чувствуют что-то вроде паутины — ощущение от легкого передвижения эфира, который переходит с лица в электрический предмет или, наоборот, с этого последнего — на лицо в зависимости от того, с плюсом электричество или с минусом, или, как обычно выражаются, — положительное оно или отрицательное.

Электрическая атмосфера поможет также яснее истолковать поочередное притяжение и отталкивание легких предметов, которые находятся вокруг наэлектризованного предмета, о чем я имел честь говорить в моем предыдущем письме; В. В., должно быть, заметили, что объяснение, которое я дал там отталкиванию, несколько хромает; но электрическая атмосфера отлично восполнит этот недостаток.

Пусть AB изображает стеклянную трубку, наэлектризованную и перегруженную эфиром, и пусть C будет малым легким предметом с порами, в обычном состоянии довольно открытыми. Пусть атмосфера распространяется на расстояние DE . Теперь, поскольку в пространстве, окружающем предмет C , содержится эфир более упругий, этот последний войдет в поры тела C и тут же из трубки выйдет новый эфир, который перейдет из D в C , и этому переходу помогает главным образом атмосфера, так как, если бы эфир, содержащийся в воздухе, не имел никакого сообщения с эфиром в трубке, предмет C вовсе не почувствовал бы соседства трубки; но пока эфир переходит из D в C , давление воздуха между C и D уменьшается и предмет C не будет сжиматься со всех сторон одинаково; поэтому его будут толкать к D , как если бы он туда притягивался. По мере же того как он будет к ней приближаться, он будет все более перегружаться эфиром, станет столь же электрическим, как сама трубка, и, следовательно, электричество трубки перестанет действовать на него.



Но поскольку в данный момент предмет C , достигнув D , содержит избыток эфира больше, чем воздух в E , то этот эфир будет стараться вырваться из него и уйти в E . Атмосфера (или сжатие эфира) постепенно ослабевает от D к E и облегчит этот переход; излишний эфир в самом деле утечет из предмета C по направлению к E . Благодаря этому передвижению давление воздуха на предмет будет с этой стороны меньше, чем со всех остальных сторон, и поэтому предмет будет подталкиваться по направлению к E , как если бы трубка его отталкивала. Но когда он достигнет E , то будет уже избавлен от излишнего

эфира и вернется в свое обычное состояние, из чего следует, что он снова будет притянут к трубке, как вначале, а когда достигнет ее — снова будет отторгнут по той же причине, которую я только что изложил.

Итак, главным образом именно электрическая атмосфера производит эти удивительные явления, когда мы видим, что электрические предметы попеременно то притягивают, то отталкивают маленькие легкие тела, такие как мелкие кусочки бумаги или металлические опилки, с которыми этот опыт получается лучше всего, потому что эти вещества имеют очень открытые поры.

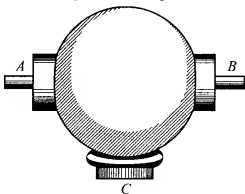
Наконец, В. В. с легкостью убедится, что все, что я сказал выше об электричестве с плюсом, должно в равной мере иметь место и для электричества с минусом, нужно только изменить направление передвижения эфира; при этом передвижении давление воздуха всегда должно уменьшаться.

11 июля 1761 г.

Письмо 145

Об электризации железного шеста при помощи стеклянного шара

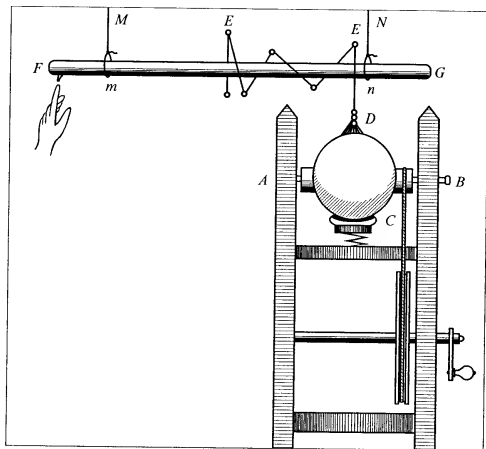
После опытов, проведенных со стеклянными трубками, электричеству научились придавать большую силу. Вместо трубки при этом пользуются стеклянным шаром, который быстро вращают вокруг оси, и, прикладывая к нему руку или прокладку, сделанную из материала, имеющего открытые поры, производят трение, которое делает весь шар электрическим.



Прилагаемый здесь чертеж представляет этот шар, который можно заставить вращаться на осях *A* и *B* при помощи механизма, сходного с тем, которым пользуются токари. *C* — это прокладка, довольно плотно прижатая к шару, о который она трется при вращении. Во время этого трения, поскольку поры прокладки сжимаются сильнее, чем поры стекла, эфир, который в них содержится, изгоняется из них и вынужден проникать в поры стекла, где он накапливается все более и более, потому что от-

крытые поры прокладки доставляют все новый эфир, постоянно замещаемый эфиром окружающих предметов; таким способом можно перегрузить шар эфиром в большей степени, чем стеклянную трубку. Соответственно этому электрические эффекты шара более внушительны, но той же природы, что и те, о которых я рассказывал выше, когда попеременно притягивались и отталкивались легкие предметы, а искры, которые можно видеть, дотронувшись до

шара, — гораздо ярче. Однако опытами такого рода, какие я описал В. В., не удовлетворились, и при помощи этого наэлектризованного шара открыли нам явления, намного более поразительные.



Построив машину, чтобы вращать шар на осях *A* и *B*, подвешивают железный шест *FG* над шаром или сбоку от него, к шару подводят цепочку *ED* из железа или другого металла, заканчивающуюся в *D* металлическими проволочками, касающимися шара. Достаточно, чтобы эта цепочка была связана с шестом любым способом или чтобы она его только касалась. Когда начинают вращать шар, трущийся о прокладку в *C*, чтобы сделать эфир в стекле избыточным и более упругим, он легко переходит в проволочки *D*, которые, будучи сделаны из металлического вещества, имеют очень открытые поры; отсюда он перейдет по цепочке *DE* в железный прут *FG*. Так через посредство шара эфир, выжатый из прокладки *C*, будет постепенно накапливаться в железном шесте *FG*, который поэтому также становится электрическим, и его электричество растет по мере того, как продолжают вращать шар.

Если бы этот шест сообщался еще и с другими предметами, имеющими открытые поры, он скоро разгрузился бы от избытка своего эфира и тем самым

потерял бы свое электричество; эфир, извлеченный из прокладки, распределится бы по всем предметам, соединенным между собой, и избыточность его сжатия стала бы теперь незаметной. Чтобы избежать этой неприятности, которая свела бы на нет электрические явления, необходимо класть шест или подвешивать его на опоры, сделанные из материала с хорошо закрытыми порами. Такими свойствами обладают стекло, смола, сера, сургуч и шелк. Таким образом, разумно будет установить шест на опоры из стекла или вара или же подвесить на шелковых шнурах. Так шест будет предохранен от потери накопленного им эфира, потому что со всех сторон он будет окружен лишь предметами, имеющими замкнутые поры, которые не допускают почти никакого проникновения эфира из шеста. В таком случае говорят, что шест изолирован или избавлен от всякого соприкосновения, которое могло бы похитить у него его электричество. Однако В. В. легко догадается, что полностью воспрепятствовать потерям невозможно; поэтому электричество такого шеста, если его не поддерживают, вращая шар, постепенно уменьшается.

Таким способом сообщают электричество железному шесту, который никогда не смогли бы сделать электрическим, сколько бы усилий ни положили, натирая его, — только по той причине, что его поры открыты. По этой же самой причине этот же шест, став электрическим через передачу, производит явления, значительно более поразительные. Когда к нему приближают палец или какую-нибудь другую часть тела, видно, как из шеста выскакивает очень яркая искра в форме пучка, которая, войдя в тело, производит укол, чувствительный, а иной раз и болезненный. Я припоминаю, как приблизил однажды к такому шесту голову, покрытую париком и шляпой, но удар пронзил их насквозь и был таким яростным, что боль от него я чувствовал еще и на следующий день.

Эти искры, выскакивающие из шеста в любом месте, если поднести к нему предмет с открытыми порами, зажигают винный спирт и убивают маленьких птичек при приближении их головок к шесту. Когда другой конец цепочки *DE* опускают в сосуд, наполненный водой и стоящий на предметах, у которых поры закрыты, — таких как стекло, вар или шелк, весь объем воды становится электрическим; некоторые авторы уверяют, что им удавалось наэлектризовать таким манером целые озера, так что, когда к озеру подносили руку, видно было, как прямо из воды вылетают очень колющие искры. Но мне кажется, что шар нужно было бы крутить очень уж долго, чтобы запустить такое большое количество эфира в столь непомерную массу воды; следовало бы также, чтобы дно озера и все, что его окружает, имело хорошо закрытые поры.

Таким образом, чем более открыты поры предмета, тем более способен он электризоваться до высокой степени и производить удивительные явления.

В. В. согласится, наверное, что все это вполне согласуется с принципами, которые я установил вначале.

Письмо 146

Об электризации людей и животных

Поскольку можно перенести электричество из стекла в железный шест посредством цепочки, которая устанавливает сообщение между ними, можно таким же способом заставить электричество перейти в тело человека, в силу того что тела животных имеют общее с металлами и с водою свойство — их поры хорошо раскрыты; но нужно, чтобы этот человек не соприкасался с другими предметами, имеющими такие же раскрытые поры. Для этого он становится на большой кусок вара или садится на стул, стоящий на стеклянных подставках, или, наконец, этот стул подвешивают на шелковых шнурах, потому что все эти материалы имеют поры настолько закрытые, чтобы не дать выйти эфиру, которым тело человека перегружается в результате электризации. Эта предосторожность абсолютно необходима, так как если бы человек находился на голой земле, которая тоже имеет довольно открытые поры, то как только эфир в его теле был бы приведен в состояние более сильного сжатия, то тут же ушел бы в землю и нужно было бы перегрузить всю Землю, прежде чем человек стал бы электрическим. Так что В. В. понимает, конечно, что прокладки, которой натирается стеклянный шар, недостаточно, чтобы доставить столь невероятное количество эфира, а если бы захотели извлекать его из самой Земли, то не добились бы ничего, потому что у нее отнимали бы, с одной стороны, столько же, сколько давали бы ей, с другой.

Если же поместить человека, которого хотят наэлектризовать, так, как я указал выше, то довольно, чтобы он дотронулся рукой до стеклянного шара, когда он крутится, и эфир, накопившийся в шаре, легко пройдет через открытые поры руки и распространится по всему телу, откуда уже не сможет так легко убежать, потому что воздух и все предметы, которыми этот человек окружен, имеют закрытые поры. Вместо того чтобы дотронуться рукой до шара, столь же достаточно будет, если он коснется цепочки или самого прута, о котором я говорил в предыдущем письме. Но в этом случае не только шар должен быть перегружен эфиром, но и цепочка с железным шестом, а так как это требует большого количества эфира, нужно дольше поработать, крутя шар, чтобы доставить ему достаточно эфира.

Таким способом человек становится целиком электрическим, или, что то же самое, все его тело будет перегружено эфиром, который, следовательно, доводится до самой высокой степени сжатия и упругости, из-за чего он будет силиться выйти из человека.

В. В. согласится, конечно, что это насильственное состояние не может быть безразличным для человека. Наше тело во всех своих малейших частях полностью пропитано эфиром, и мельчайшие волоконца, так же как и нервы, столь наполнены им, что можно не сомневаться — в этом эфире

заключены главные действующие начала движений мышц и жизненных соков. Поэтому наблюдается, что у наэлектризованного человека пульс быстрее; у него выступает пот, и движение самых тонких жидкостей, которыми наполнено наше тело, становится более быстрым. Кроме того, чувствуют некое изменение во всем теле; его невозможно описать, и все совершенно уверены, что подобное состояние очень влияет на здоровье, хотя до сих пор не проведено достаточно опытов, чтобы определить, в каких случаях это влияние целебно, а в каких — нет. В некоторых случаях может быть хорошо, чтобы кровь и другие важные субстанции были приведены в более быстрое кругообращение, — так можно избежать засорений, которые могли бы иметь неприятные последствия; но иногда может получиться, что слишком быстрое движение влаги будет вредным для здоровья. Предмет весьма достоин того, чтобы врачи приложили больше стараний к лучшему его изучению. Хвалятся несколькими поразительными исцелениями, достигнутыми путем электризации, но пока еще нельзя отчетливо выделять случаи, когда можно надеяться на верный успех.

Если вернуться теперь к нашему наэлектризованному человеку, то весьма примечательно, что в темноте видно, как он окружен свечением вроде того, которым художники окружают головы святых. Причина этого явления очевидна: так как из человека постоянно выходит какая-то часть эфира, которым перегружено тело, и поскольку этот эфир встречает большое сопротивление закрытых пор воздуха, он приводится этим в некое колебание, являющееся причиной всякого света, как я имел честь доказать В. В.

Если привести человека в наэлектризованное состояние, то можно наблюдать явления, весьма поразительные: когда до него дотрагиваются чем-нибудь, не только видно, как из места, которого коснулись, выскакивают очень яркие искры, но наэлектризованный человек от этого испытывает еще и острую боль. Если же другой человек, находящийся в обычном состоянии, т. е. не наэлектризованный, трогает его, оба чувствуют эту боль, которая вполне может иметь пагубные последствия, особенно если притрагиваются к голове или какому-нибудь другому очень чувствительному месту. Из этого В. В. поймет, до какой степени нам безразлично, когда часть эфира, заключенного в нашем теле, выходит из него или вновь в него входит, особенно если это происходит со столь поразительной скоростью.

В остальном свечение, окружающее наэлектризованного человека в темноте, прекрасно подтверждает то, что я имел честь говорить об электрической атмосфере, которая окутывает все тела; и В. В. более не будет находить ничего непонятного в большинстве электрических явлений, какими бы необъяснимыми они ни казались другим.

Письмо 147

*О характерном различии двух родов электричества —
положительного и отрицательного*

В. В. вспомнит, наверное, что не только стекло становится электрическим при натирании, но и другие вещества, такие как сургуч или сера, имеют то же свойство, потому что их поры тоже закрыты, и если в них вводят слишком много эфира или, наоборот, отбирают у них какую-то часть его, они остаются некоторое время в этом состоянии невосстановленного равновесия. Поэтому вместо стеклянных шаров пользуются также шарами из сургуча или серы, которые вращают вокруг оси, притом что они трутся о прокладку так же, как я имел честь изложить, рассказывая о стеклянном шаре. Таким способом эти шары тоже делают электрическими, и когда к ним прикладывают железный шест, который касается их лишь тонкими проволочками или металлическими лепестками, неспособными нанести ущерб шару, электричество тут же сообщается этому шесту, и из него можно передать это электричество каким угодно другим предметам.

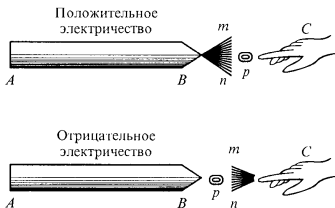
Однако в этом случае находят одно очень знаменательное различие. Стеклянный шар, будучи наэлектризован таким способом, перегружен эфиром, и железный шест или другие предметы, которые приводят с ним в соприкосновение, получают электричество той же природы, или, что то же — эфир в них находится под слишком большим давлением, упругость его увеличена. Это электричество называется положительным, или электричеством с плюсом. Но когда подвергают такому же воздействию шар из сургуча или серы, этим порождается электричество, прямо противоположное, которое называют отрицательным,¹ или электричеством с минусом, так как замечено, что благодаря трению эти шары лишаются части эфира, заточенного в их порах.

В. В. удивится, увидев, что одно и то же натирание может произвести эффекты, прямо противоположные; но это зависит от природы тел натирающих и натираемых и от жесткости их мельчайших частиц, содержащих поры. Чтобы объяснить возможность такого различия, начнем с того очевидного обстоятельства, что, когда два предмета сильно трутся друг о друга, поры одного должны, как правило, испытывать более сильное сдавливание, чем поры другого, и в этом случае эфир, содержащийся в порах, которые испытывают большее сжатие, выдавливается и вынужден проникать в поры другого предмета, которые сдавлены меньше.

Если это так, то следует сказать, что при натирании стекла прокладкой поры прокладки испытывают большее сдавливание, чем таковые стекла, и поэтому эфир прокладки переходит в стекло и производит в нем электричество с плюсом, или положительное, как я уже имел честь объяснить В. В. Но когда стеклянный шар заменяют сургучным или серным, то, поскольку поры этих

веществ более подвержены сдавливанию, чем у материала прокладки, которая их натирает, часть эфира, содержащегося в этих шарах, будет из них выжата и вынуждена войти в прокладку, так что этот сургучный или серный шар будет лишен части своего эфира и получит, следовательно, электричество отрицательное, или с минусом.

Ту же природу имеет электричество, которое получает шест железный или из другого металла, приведенный в соприкосновение с сургучным или серным шаром; ту же природу будет иметь и электричество, которое сообщают человеку, стоящему на куске вара или висящему на шелковых веревках. Когда дотрагиваются до такого человека (или до другого предмета, наэлектризованного таким способом и имеющего открытые поры), наблюдают примерно те же явления, что и в случае положительного электричества. Прикосновение также сопровождается искрой и уколом в обе стороны. Причина этого очевидна: так как эфир, который на этот раз вытекает из тел, находящихся в своем естественном состоянии, чтобы перейти в тела наэлектризованные, стеснен в этом, то переход должен сопровождаться колебаниями, вызывающими свечение. Однако наблюдается заметное различие в форме искры в зависимости от того, положительно электричество или отрицательно.



возле шеста.

Вот основной признак, по которому различают электричество положительное и отрицательное. В том месте, откуда эфир вытекает, искра имеет форму пучка, но там, где эфир входит в предмет, искра становится светящейся точкой.

Если шест AB имеет положительное электричество и к нему подносят палец C , то свет, который исходит из шеста, появляется в форме султана mn ,² и возле пальца наблюдается светящаяся точка p .

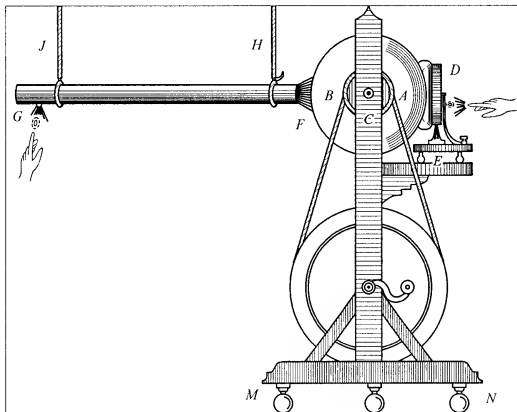
Но если шест AB заряжен отрицательным электричеством и к нему подносят палец C , то светящийся пучок mn вылетает из пальца, а светящуюся точку p наблюдают

Письмо 148

*Как один и тот же стеклянный шар
может производить тот и другой род электричества
одновременно?*

В. В. лучше поймет различие между положительным и отрицательным электричеством, когда я буду иметь честь объяснить В. В., каким образом можно при помощи одного и того же стеклянного шара произвести как ту, так и другую разновидность электричества, что послужит одновременно лучшему пониманию этих достойных восхищения явлений природы.

Пусть *AB* будет стеклянный шар, вращаемый вокруг своей оси *C* и натираемый прокладкой *D*, напротив которой его касаются металлические щетки *F*, связанные с железным шестом *FG*, подвешенным на шелковых шнурах *H* и *J*, чтобы шест нигде не касался предметов с открытыми порами (соблаговолите посмотреть прилагаемый рисунок).



В. В. знает, что при трении шара о прокладку *D* эфир переходит из прокладки в стекло, где он становится более сжатым и, следовательно, более

упругим; оттуда по щетке F он перейдет в металлический шест FG , хотя поры у стекла довольно закрытые; но эфир накапливается в шаре все более и более благодаря трению, и шар вскоре становится столь перегруженным, что эфир вытекает из него по металлической щетке, чтобы перебраться в шест, отчего этот последний тоже становится электрическим.

Из этого В. В. видит, что весь этот избыток эфира добыт из прокладки она вскоре оказалась бы лишена эфира, если бы не имела свободного сообщения с подставкой машины и через нее — со всей Землей, из которой прокладка в каждый момент пополняется новым эфиром, так что сколько бы ни продолжалось натирание, эфира у нее довольно, чтобы все более сдвигать тот, что находится в шаре и в железном шесте. Но если вся машина покоится на стеклянных опорах, таких как M и N , или если она подвешена на шелковых шнурах, так что прокладка не имеет никакого сообщения с предметами, имеющими открытые поры, из которых мог бы пополняться недостаток эфира, прокладка скоро лишится своего эфира, и электричество в шаре и шесте можно будет довести лишь до определенного уровня — едва заметного, если только прокладка не будет иметь огромных размеров. Чтобы восполнить этот недостаток, прокладку соединяют с большим куском металла E , у которого эфира хватит, чтобы снабдить им шар и шест и довести их эфир до высокой степени сжатия.

Таким путем сообщают шару и шесту положительное электричество, как я имел честь доложить В. В. Но по мере того как шар и шест перегружаются эфиром, прокладка и кусок металла теряют его в точности столько же и приобретают от этого отрицательное электричество, так что мы имеем здесь сразу обе разновидности электричества: положительное в шесте и отрицательное — в куске металла. То и другое электричество проявляют свое действие в соответствии со своей природой. Когда подносят палец к шесту, из того вылетает искра в форме пучка, и можно видеть светящуюся точку возле пальца; но если подносят палец к куску металла, то пучок вылетает из пальца, а светящаяся точка будет видна возле металла.

Представим себе также двух людей, помещенных на куске вара, чтобы лишить их всякого сообщения с предметами, имеющими открытые поры; пусть один из них прикоснется к шесту, а другой — к куску металла, когда машина находится в действии; ясно, что первый, который касается шеста, станет электрически положительным или перегрузится эфиром, в то время как другой, касающийся куска металла, получит отрицательное электричество и будет лишен части своего эфира.

Итак, вот два человека; тот и другой наэлектризованы, но совершенно противоположным образом, хотя их наэлектризовала одна и та же машина. Тот и другой будут окружены электрической атмосферой, которая проявится в темноте в виде сияния, вроде того, с каким художники изображают святых; причина здесь та, что из одного избыточный эфир незаметно вытекает в окружающий воздух, а что касается другого, то содержащийся в воздухе эфир

незаметно проникает в его тело. Это движение, хотя и незаметное, сопровождается колебанием эфира, что и порождает свет.

Ясно, что эти два электричества прямо противоположны, но чтобы лучше в этом убедиться — достаточно этим двум людям подать руки друг другу или только соприкоснуться, и мы увидим, как из них вылетают яркие искры, а они сами почувствуют острую боль.

Если бы эти два человека были наэлектризованы одной и той же разновидностью электричества, — что случилось бы, если бы они оба дотронулись либо до шеста, либо до куска металла, — они бы трогали друг друга безнаказанно, без малейших признаков искры или боли, поскольку эфир, находящийся в них обоих, пребывал бы в одном и том же состоянии, в то время как в другом случае их состояния полностью противоположны.

25 июля 1761 г.

Письмо 149

О лейденском опыте

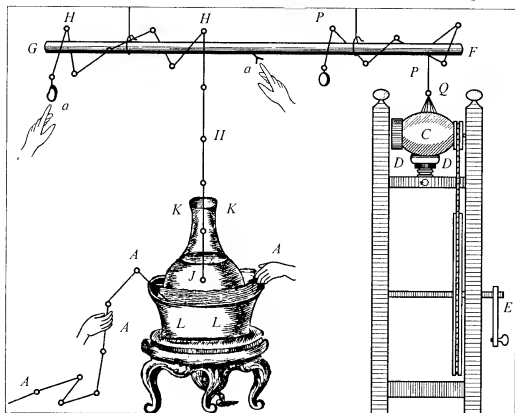
Теперь я побеседую с В. В. о совершенно особенном электрическом явлении, которое наделало много шума и известно под названием знаменитого лейденского опыта, потому что автор его — лейденский профессор г-н Мюшенброк.¹ Уникальность этого опыта заключается в страшной силе, которая в нем достигается и может наносить самые жестокие удары многим людям сразу.

Прилагаемый чертеж позволит В. В. понять сущность этого любопытного опыта. *C* — это стеклянный шар, вращающийся посредством рукоятки *E* и трущийся о прокладку *DD*, прижатую к шару пружиной *O*. *Q* — это металлические щетки, которые передают электричество железному шесту *FG* через металлическую цепочку *P*.

До сих пор ничто не отличается от приспособления, которое я уже несколько раз имел честь описывать В. В. Но для того чтобы произвести опыт, о котором здесь идет речь, к шесту привязывают еще одну металлическую цепочку *H*, другой конец которой *J* вводят в стеклянную колбу *KK*, заполненную водой, а сама колба поставлена в резервуар *LL*, также заполненный водой. В воду, налитую в резервуар, погружают при желании еще одну цепочку *A*, другой конец которой лежит на полу.

Теперь машину приводят в действие на некоторое время, чтобы шест в достаточной мере наэлектризовался. В. В. знает, что если кто-нибудь подставит палец к шесту в *a*, он почувствует обычный электрический удар искрой, которая выскочит из шеста. Но если бы этот человек одновременно опустил другую руку в воду резервуара или только прикоснулся телом к цепочке, погруженной концом в эту воду, он получил бы удар несравнимо более жестокий,

который причинил бы ему сотрясение во всем теле. Эти толчки можно дать почувствовать многим людям сразу: достаточно, чтобы они подали руки друг другу; достаточно даже, чтобы они касались друг друга одеждой. Первый опус-



кает руку в воду резервуара или только дотрагивается до цепочки, один конец которой погружен в эту воду; как только последний из участников поднесет палец к пруту, видно, как из того вылетает искра, значительно более сильная, чем обычно, и все участники получают одновременно очень жестокие удары по всему телу.

Вот знаменитый лейденский опыт, который тем более удивителен, что трудно понять, каким образом колба и вода резервуара способствуют усилению эффекта электричества до столь ужасных размеров. Чтобы преодолеть это затруднение, я буду иметь честь представить по этому поводу следующие соображения.

I. Когда эфир благодаря действию машины подвергается сжатию в шесте, он переходит по цепочке H в воду, содержащуюся в колбе KK, и, поскольку он находит в ней открытые поры, вода колбы становится столь же перегруженной эфиром, как и сам шест.

II. Так как колба — стеклянная, она имеет закрытые поры, которые не позволяют эфиру, сжатому внутри них, пройти сквозь вещество стекла,

чтобы разрядиться в наружную воду, содержащуюся в резервуаре, и, следовательно, вода в резервуаре останется в своем обычном состоянии и не делается электрической, а если даже какое-то количество эфира утечет сквозь стекло, он тут же затеряется в резервуаре и подставке, поры которых открыты.

III. Рассмотрим теперь человека, держащего одну руку в воде резервуара или только дотрагивающегося до цепочки А, один конец которой погружен в эту воду; пусть он поднесет теперь другую руку к шесту в пункте а; первым результатом будет то, что вместе с искрой, вылетающей из шеста, эфир стремительно убежит из шеста и свободно пройдет сквозь тело человека, повсюду находя открытые поры.

IV. До сих пор мы наблюдали только обычное проявление электричества, но в то время когда эфир столь стремительно проходит сквозь тело человека, он выходит с такою же скоростью через другую руку или через цепочку А, чтобы излиться в воду резервуара; и, поскольку он входит в воду столь стремительно, он легко преодолит препятствие, представляемое стеклом, и проникнет в воду, содержащуюся в колбе.

V. Поскольку же вода в колбе уже содержит эфир, и без того слишком сжатый, он приобретет благодаря этой прибавке новые силы и буйно распространится как по цепочке *JH*, так и по самому шесту; следовательно, в пункте а он будет вытекать с дополнительной силой, а так как все это происходит в одно мгновение, он с возросшей силой устремится в палец, чтобы пройти сквозь тело человека.

VI. Пройдя оттуда снова в воду резервуара и затем проникнув в колбу, он еще раз усилит колебания эфира, сжатого в воде колбы и в шесте; и так будет продолжаться до тех пор, пока все не придет в равновесие, что произойдет очень скоро по причине стремительности, с которой движется эфир.

VII. То же самое будет иметь место, если будут участвовать несколько человек. И теперь, я надеюсь, В. В. без труда поймет, откуда берется это удивительное увеличение электрической силы в опыте Мушенброка, силы, способной производить эффекты, столь поразительные.

VIII. Если еще оставались какие-то сомнения из-за того, что я сказал вначале, будто эфир, сжатый в воде колбы, не может проникать сквозь стекло, а затем предположил, что он проходит свободно, то всякое сомнение исчезнет, если принять во внимание, что в первом случае все спокойно, а в последнем — эфир находится в страшном возбуждении, и это должно, без сомнения, очень способствовать преодолению самых закрытых переходов.

Письмо 150

*Размышления о происхождении и природе
электричества и о других методах,
способных возбудить электричество*

После этих разъяснений В. В. не будет более в затруднении относительно причины поразительных событий, которые наблюдаются при электрических явлениях.

Большинство авторов, которые писали об этом, так усложняют опыты, что в конце концов в них абсолютно ничего не понять, в особенности же — когда они хотят дать им объяснение. Все они прибегают к понятию о некоей тонкой субстанции, которую они называют электрическим флюидом; они приписывают ей свойства столь странные, что наш разум решительно против этого восстает, а в конечном счете мы вынуждены признать, что всех их стараний отнюдь недостаточно, чтобы дать нам основательное понимание этих важных явлений природы.

Но из того, что я имел честь изложить В. В., ясно, что предметы становятся электрическими лишь постольку, поскольку упругость или степень сжатия эфира, который содержится в порах предметов, неодинакова и эфир не находится в состоянии равновесия, или, что то же самое, когда в некоторых предметах он сжат больше или меньше, чем в других, так как в этом случае поразительная упругость, коей наделен эфир, совершает огромные усилия, чтобы он вернулся в равновесие и восстановил повсюду одну и ту же степень упругости, насколько это позволяет природа пор, которые в разных телах открыты в большей или меньшей степени; именно этот процесс восстановления равновесия всякий раз производит электрические явления.

Когда эфир выходит из предмета, в котором он более сжат, чтобы перейти в другой, где его сжатие меньше, этому переходу всегда препятствуют закрытые поры воздуха, и вследствие этого эфир приводится в состояние возбуждения или неистовое колебательное движение, в чем, как мы видели, и состоит явление света. И чем неистовее это движение, тем ярче становится свет и даже приобретает способность воспламенять и сжигать предметы.

Затем, пока эфир с таким буйством проникает в воздух, частицы воздуха также приводятся им в колебательное движение, которое является естественной причиной звука, и замечено, что электрические явления сопровождаются треском или каким-нибудь шумом, большим или меньшим в зависимости от обстоятельств.

Сверх того, поскольку тела людей и животных в своих мельчайших порах заполнены эфиром и поскольку деятельность нервов, по-видимому, особенно зависит от эфира, который в них содержится, люди и животные не могут быть нечувствительны к электричеству; когда находящийся в них эфир приводится

в сильное колебание, его воздействие на них должно быть очень ощутительно и в зависимости от обстоятельств целебно или вредно. К этому последнему классу следует, несомненно, отнести ужасные сотрясения при лейденском опыте, и нет никаких сомнений, что этот опыт можно довести до такой силы, что стало бы возможным убивать людей, так как этим способом уже были погублены многие мелкие животные, такие как мыши и птицы.

Хотя для того, чтобы произвести электричество, обычно пользуются натиранием, В. В. легко поймет, что есть и другие средства, пригодные для этой цели. Все, что способно привести эфир, заключенный в порах предмета, к большей или же меньшей степени сжатия, чем обычно, делает тем самым этот предмет электрическим, и если его поры закрыты, электричество останется в нем некоторое время, тогда как в предметах, чьи поры открыты, оно не сможет длительно существовать, разве что эти предметы будут со всех сторон окружены воздухом или другими телами, у которых поры закрыты.

Так, было замечено, что теплота часто может заменить натирание; когда нагревают или расплавляют в ложке сургуч или серу, то после охлаждения обнаруживается сильная электризация этих веществ; причина этого не останется долее скрытой от нас, так как мы знаем, что теплота расширяет поры всех предметов. В самом деле, мы видим, что все предметы, будучи нагреты, занимают больший объем, чем тогда, когда они холодные.

В. В. знает, что ртуть в термометре поднимается в жару и опускается в холод; это потому, что ртуть, когда она теплая, занимает больший объем или заполняет большее пространство в стеклянном сосуде, чем когда она холодная. По этой же причине находят, что железный шест, сильно нагретый, всегда немного длиннее, чем тогда, когда он холодный; это свойство — общее для всех тел, которые мы знаем.

Итак, когда мы расплавляем на огне кусок сургуча или серы, их поры от этого расширяются и, вероятно, становятся более открытыми, и поэтому нужно, чтобы несколько большее количество эфира вошло туда, чтобы заполнить пустоты. Потом, когда этим веществам дают остыть, поры суживаются и одновременно закрываются, так что эфир в них стеснен в меньшем пространстве и, следовательно, сжат в большей степени, отчего увеличивается его давление; эти предметы приобретают поэтому положительное электричество и демонстрируют его эффекты.

Подобное же свойство наблюдается и у большинства драгоценных камней, которые, будучи нагреты, становятся электрическими. Существует даже цейлонский камень, называемый турмалином (*Aschentreckner*),¹ который, если его потереть или нагреть, приобретает обе разновидности электричества одновременно. Это происходит потому, что эфир одной части камня изгоняется, чтобы сильнее сжать тот, что находится в другой части, а поры слишком закрыты и не позволяют установиться равновесию.

Письмо 151

*О природе грома и молнии.
Объяснения античных философов и Декарта,
и о сходстве между грозowymi
и электрическими явлениями*

До сих пор я рассматривал электричество только лишь постольку, поскольку оно является объектом нашего любопытства, а также размышлений, коим предаются физики; но теперь В. В. узнает не без удивления, что гром и молния вместе со всеми ужасными явлениями, которые их сопровождают, ведут свое происхождение от той же причины и что природа в этом случае творит в большом масштабе то, что физики проделывают в своих опытах в малом.

Сначала на этих ученых смотрели как на фантазеров, которые вообразили, что нашли какое-то подобие между такими явлениями, как гром и электричество; думали, что философы делают это только затем, чтобы скрыть свое неведение относительно причины грома. Но В. В. вскорости убедится, что никогда догадка не была обоснована лучше и что все другие объяснения этих величественных природных процессов лишены всякого основания.

В самом деле, все, что выдвигалось по этому поводу ранее, до знакомства с электричеством, изобиловало величайшими нелепостями и не могло просветить нас ни об одном из грозowych явлений.

Античные философы приписывали их происхождение серным и смоляным испарениям, которые поднимаются из Земли в воздух и смешиваются с облаками, где воспламеняются от некоей неизвестной причины.

Декарт, который рано понял несостоятельность этого объяснения, придумал другую причину — в тех же облаках — и решил, что гром рождается, когда облака, расположенные выше, стремительно падают на другие, более низкие, и этим падением воздух, находящийся между ними, сжимается настолько, что производит сильный грохот и даже сверканье молний — хотя доказать такую возможность было нельзя.

Однако, не задерживая В. В. на неверных объяснениях, которые ни к чему не ведут, я потороплюсь сообщить В. В. неоспоримые доводы, убеждающие нас, что явлениям, связанным с громом, всегда сопутствуют самые несомненные признаки электричества.¹

Железный (или из другого металла) шест кладут на стойку из стекла или какого-нибудь другого материала, имеющего закрытые поры, чтобы, когда шест наэлектризуется, электричество не могло из него вытечь или передаться предмету, на котором он лежит. Когда начинается гроза и тучи, готовые разразиться громом, приблизятся и окажутся над шестом, в нем обнаруживается очень сильное электричество, которое обычно намного превосходит то, что можно произвести искусственно; и если к железу подносят руку или какой-нибудь

другой предмет с открытыми порами, видно сверкание — даже не искра, но целая молния, очень яркая, со звуком, похожим на гром, и от этого человек, протянувший руку, получает удар столь жестокий, что не может устоять на ногах. Это уже не просто любопытный факт, и есть веские причины остерегаться и не приближаться к шесту во время грозы.

Один петербургский профессор по фамилии Рихман доставил нам печальный тому пример. После того как была замечена столь тесная связь между явлениями, относящимися к грому, и электричеством, этот злополучный физик, чтобы лучше удостовериться в оной путем опытов, поднял на крышу своего дома железный шест, оправленный внизу в стеклянную трубку и установленный на куске вара. Он привязал к шесту проволоку, которую провел в свою комнату, чтобы, когда шест наэлектризуется, электричество свободно передалось проволоке и он мог бы изучать его проявления у себя в комнате. В. В., конечно, понимает, что эта проволока была проведена через все отверстия таким способом, что она всюду касалась только предметов с закрытыми порами, как стекло, вар, шелк, чтобы электричество не могло утечь с нее.

Так все устроив, он стал ждать грозу, которая, на его несчастье, скоро явилась. Гром послышался издалека; г-н Рихман очень внимательно наблюдал за своей проволокой, не обнаружится ли какой-нибудь признак электричества. Когда гроза подошла ближе, он справедливо решил, что нужно соблюсти некоторую осторожность и не подходить безрассудно к проволоке, но нечаянно несколько приблизил к ней свой лоб и получил столь страшный удар со вспышкой, что был убит на месте.

Примерно в это же время покойный г-н доктор Либеркюн и г-н доктор Лудольф хотели провести подобные же опыты² и с этой целью установили железные шесты на своих домах. Но когда они узнали о несчастье с г-ном Рихманом, они поторопились снять шесты со своих домов и, я думаю, поступили весьма благоразумно.

Из этого В. В. легко делает вывод, что воздух (или атмосфера) должен становиться очень наэлектризованным во время грозы (или что эфир должен приходить в состояние очень сильного сжатия). Этот эфир, которым воздух перегружен, перейдет в шест потому, что поры шеста открыты, и сделает его электрическим точно так же, как если бы он был наэлектризован обычным способом, но в значительно большей степени.

4 августа 1761 г.

Письмо 152

Объяснение явлений грома и молнии

Итак, опыты, о которых я только что рассказал, неопровержимо доказывают, что грозовые тучи предельно наэлектризованы, и значит, их поры либо перегружены эфиром, либо лишены этого последнего, поскольку и то и другое

состояние одинаково соответствуют электризации. Но у меня есть веские соображения, убеждающие меня в том, что это электричество — положительное, что эфир в этом случае сжат в самой высокой степени и, следовательно, в такой же мере более упруг, чем в других местах.

Обычно такие грозы происходят только после сильной жары; тогда поры воздуха и паров, которые в нем летают, до крайности расширяются и заполняются огромным количеством эфира, который, как В. В. уже знает, с легкостью занимает все пустоты в других веществах. Но когда испарения собираются в верхних частях нашей атмосферы, чтобы образовать облака, они встречаются там с сильным холодом. В этом не следует сомневаться по той причине, что град, который часто образуется в этих частях атмосферы, в достаточной мере является доказательством происходящего там замораживания; кроме того, совершенно очевидно, что, как бы ни было тепло здесь, у нас внизу, наверху всегда царит сильнейший холод. Этот холод — причина того, что высокие горы всегда покрыты снегом, и даже в Перу, самой жаркой стране на Земле,¹ на вершинах высоких гор, известных под именем Кордильер, нет ничего, кроме снега и льда.

Не может быть ничего более достоверного и лучше установленного, чем то, что сильный холод царит повсюду в верхней части нашей атмосферы, где формируются облака. И столь же достоверно, что холод суживает поры предметов, сокращая их до меньшего объема; поэтому поскольку поры испарений были предельно расширены жарой, то как только они на высоте образуют облака, их поры сузятся, а так как эфир, который их заполнял, не может оттуда выйти, потому что поры воздуха почти полностью закупорены, из этого следует, что эфир в них останется и что он будет сжат до гораздо более высокой плотности, отчего его упругость настолько же увеличится.

Итак, вот подлинное состояние грозowych туч: эфир, содержащийся в их порах, гораздо более упруг, или же — что то же самое — тучи обладают положительным электричеством. Так как тучи — не что иное, как скопление влажных паров, их поры хорошо раскрыты, но, поскольку они окружены воздухом, поры которого весьма закрытые, этот эфир, сжатый в тучах, не может из них убежать, разве что в незаметных количествах. Но если бы какой-нибудь человек или какой-нибудь другой объект с открытыми порами приблизился к такой туче, можно было бы наблюдать то же, что и при электрических явлениях: из него вылетела бы искра, но очень сильная, или, скорее, настоящая молния. Сверх того, тело получило бы очень жестокий удар вследствие того неистовства, с которым эфир тучи проникнет в поры тела. Ярость его могла бы разрушить устройство тела. Наконец, ужасающее возбуждение эфира, выходящего из тучи (поскольку это не только свет, но и настоящий огонь), могло бы поджечь и спалить горючие предметы.

В. В. узнает, наверное, в этой картине не что иное, как явление молнии. Что касается грома, то причина его вполне очевидна, потому что эфир не может быть приведен в столь ужасающее колебание без того, чтобы и сам

воздух получил жестокие сотрясения, которые, приведя его в сильное колебание, должны произвести сильный шум. Поэтому гром грохочет всякий раз, когда сила заключенного в тучах эфира может настигнуть какой-нибудь предмет, у которого поры открыты и где эфир находится в своем обычном состоянии; не нужно даже, чтобы предмет этот непосредственно коснулся тучи.

То, что я говорил об атмосферах наэлектризованных тел, особенно относится к электрическим тучам; иногда во время грозы мы ощущаем эту электрическую атмосферу по удушающему воздуху, к которому некоторые люди очень чувствительны. Затем, когда такая туча начинает проливаться дождем, воздух, становясь от этого влажным, тоже заряжается электричеством, благодаря чему электрический удар может быть нанесен предметам, весьма удаленным.

Замечено, что молния очень часто ударяет в предметы, сильно возвышающиеся, как верхушки колоколен, если они сделаны из материалов, имеющих открытые поры, например из металла; этому немало способствует заостренная форма. Столь же часто молния ударяет в воду, поры которой также открыты. Но предметы с закрытыми порами, такие как стекло, вар, сера и шелк, никогда не подвергаются ударам молнии, если только они не очень мокрые. Замечено также, что, когда молния влетает в окно, она проникает не сквозь стекло, но всегда через свинец, который скрепляет оконные стекла между собой. Можно было бы почти утверждать, что дом из стекол, скрепленных варом и другими материалами с закрытыми порами, сделал бы нас недосыгаемыми для молнии.

8 августа 1761 г.

Письмо 153

Продолжение этого объяснения

Итак, гром и молния — не что иное, как проявления электричества, заключенного в тучах; подобно тому как наэлектризованный предмет, когда он приближается к другому предмету, находящемуся в своем обычном состоянии, мечет в него искру, сопровождающуюся некоторым звуком, и с большой яростью сбрасывает в него избыток своего эфира, — то же происходит и в электрической туче, или перегруженной эфиром, но с несравненно большей силой, потому что наэлектризована огромная масса, в которой, по всей видимости, эфир доведен до гораздо большего сжатия, чем мы можем это делать в наших электрических машинах.

Поэтому, когда такая туча приближается к предметам, пригодным для того, чтобы разрядить в них свой эфир, она делает это с ужасающим неистовством: вместо простой искры воздух пронизывает яркий просверк, который, колебля эфир во всей прилежащей части атмосферы, тем самым производит в ней очень сильное свечение; именно это и есть молния.

В это же время и самый воздух приходит в сильнейшее волнение, сопровождающееся колебательным движением, из чего происходит звук грома; этот звук возникает тогда же, что и молния, но В. В. знает, что звук всегда требует некоторого времени, чтобы распространиться на какое-то расстояние, и что звук пробегает в каждую секунду всего лишь около тысячи футов,¹ тогда как свет передается со скоростью несравненно большей; поэтому мы слышим гром всегда позже, чем видим молнию; и по числу секунд, прошедших после молнии до того, как мы услышим гром, мы можем судить о расстоянии, на котором зародился гром, считая по тысяче футов за каждую секунду.

Тот предмет, в который разряжается электричество тучи, получает от нее жесточайший удар, от которого он или разлетается на куски или загорается и горит, если он способен гореть, или плавится, если это металл. О таком предмете говорится, что в него ударила молния; ее эффекты, какими бы странными и удивительными они ни казались, находятся в отличном соответствии с известными электрическими явлениями.

Иной раз случалось видеть шпагу, расплавленную молнией в ножнах, так что ножны при этом не пострадали: причиной тому — очевидно, открытые поры металла, куда эфир проникает очень легко и обрушивает туда свою силу, в то время как материал ножен более тяготеет по своим свойствам к веществам с закрытыми порами, которые не позволяют эфиру входить так легко. Порою видели, как из нескольких людей, на которых упала молния, она ударяла только некоторых, а другие, находившиеся среди этих последних, нисколько от нее не страдали. Причина этого феномена тоже ясна. Из этих людей наибольшей опасности подвергаются те, вокруг кого воздух в наибольшей степени перегружен эфиром. Поэтому как только этот эфир разряжается в человека, весь окружающий воздух приходит в свое обычное состояние и вследствие этого люди, находящиеся ближе всех к пострадавшему, не испытывают никакого воздействия, в то время как другие, которые от него более удалены, там, где воздух еще достаточно перегружен эфиром, поражаются тою же молнией.

Наконец, все странные истории, которые нам часто приходится слышать о действиях молнии, не содержат ничего, что нельзя было бы с легкостью согласовать с природой электричества.

В прежние времена были такие философы, которые поддерживали мнение, что молния приходит не из туч, но из земли или земных предметов; каким бы нелепым ни казалось это мнение, оно не столь уж абсурдно, потому что в электрических явлениях трудно установить, бьет ли искра из предмета наэлектризованного или из того, который не является таковым, ибо в том и другом случае она покрывает расстояние между двумя предметами, и если электричество отрицательное, то эфир и искра вылетают в самом деле из предмета, находящегося в обычном состоянии, т. е. ненаэлектризованного. Но поскольку мы почти уверены в том, что при явлениях грома и молнии облака имеют положительное электричество, в той же мере мы уверены, что молния вылетает из тучи.²

Наконец, В. В. может спросить, при каждом ли ударе грома какой-нибудь предмет на земле поражается молнией? В самом деле, мы видим, что молния лишь очень редко ударяет в здания или в людей, но мы знаем также, что ею часто бывают затронуты деревья и что многие удары молнии уходят в землю и воду. Однако, я думаю, можно утверждать, что многие удары молнии к нам сюда не проникают и что электричество облаков часто разряжается в воздух или атмосферу. Закрытые поры воздуха более этому не препятствуют после того, как благодаря испарениям или дождю воздух становится влажным, ибо мы знаем, что поры тогда открываются.

В этом случае очень легко может статься, что избыточный эфир облаков просто разряжается в воздух и что многие удары молнии идут в воздух; они не будут такими уж сильными и не сопровождаются грохотом грома,³ как в тех случаях, когда молния устремляется в землю и атмосфера приходит в колебание на гораздо большем протяжении.

Я надеюсь, что эти замечания немало помогут объяснить природу грома и увидеть прямую связь между ним и электричеством.

11 августа 1761 г.

Письмо 154

О возможности предупреждения и устранения пагубных воздействий молнии

Спрашивают, нельзя ли предупредить или отвести губительные действия молнии. В. В. понимает важность этой проблемы, и скольким мне были бы обязаны многие добрые люди, если бы я мог указать им средство защититься от молнии.

Знакомство с природой и проявлениями электричества не оставляет у меня сомнения в том, что это возможно; некогда я был в переписке со священником из Моравии по имени Прокопиус Дивиш,¹ который уверял меня, что он в течение целого лета отводил грозы от того места, где жил, и окрестностей посредством некоего устройства, действовавшего на основе электричества. Несколько человек, приезжавших после этого из тех краев, уверяли меня, что событие это истинное и засвидетельствованное.

Если в этом деле и можно добиться успеха, найдется, однако, множество людей, которые усомнятся, дозволено ли воспользоваться таким средством. В самом деле, древние язычники посмотрели бы как на нечестивца на того, кто попытался бы помешать Юпитеру повелевать своими молниями. Христиане, которые уверены, что молния есть дело рук Господа и что Божественное Провидение часто пользуется ею, чтобы покарать человеческую злобу, тоже могли бы сказать, что воспротивиться Верховному правосудию кощунственно.

Однако, не углубляясь в этот щекотливый вопрос, замечу, что пожары, наводнения и другие стихийные бедствия также являются средствами, которыми Провидение пользуется, чтобы покарать людские грехи; однако никто не вздумает навязать нам закон, запрещающий противиться пожарам и наводнениям. Из этого я вывожу следствие, что в любом случае вполне дозволено обезопасить себя от действия молнии, если только мы можем тут преуспеть.

Плачевный случай, происшедший с г-ном Рихманом в Петербурге,² убеждает нас, что удар молнии, притянутый этим человеком на себя, несомненно обрушился бы на какое-нибудь другое место, которое благодаря несчастью с г-ном Рихманом было от этого избавлено, и, следовательно, нельзя более сомневаться в возможности побудить молнию ударить скорее в одно место, нежели в другие; это, по-видимому, может привести нас к нашей цели.

Конечно, еще лучше было бы уметь лишать тучи их электрической силы, не принуждая себя приносить в жертву ярости молний что бы то ни было. Таким путем можно было бы предупредить даже удары грома, которые вызывают столько страхов у многих людей.

Это не кажется невозможным, и упомянутый выше моравский священник воспользовался таким средством, поскольку меня уверяли, что его машина, по-видимому, притягивала тучи и принуждала их спокойно проливаться дождем без единого удара грома, разве что очень отдаленного.

Опыт с очень высоко поднятым железным шестом, электризирующимся при приближении грозы, о котором я говорил выше, может привести нас к созданию такого устройства, ибо ясно, что по мере того как шест будет отдавать свое электричество, тучи должны терять в точности столько же электричества; однако нужно сделать так, чтобы эти шесты могли тут же освобождаться от электричества, которое они однажды притянули.

Для этого нужно создать этим шестам свободное сообщение с каким-нибудь прудом или с недрами Земли, которые, в силу того что их поры открыты, могут без труда принять значительно большее количество эфира и распределить его по всему огромному пространству Земли так, чтобы сжатие эфира нигде не становилось ощутимым. Это сообщение будет происходить очень просто при помощи цепей из железа или другого металла, которые будут быстро отводить эфир, перегружающий шесты.

Поэтому я хотел бы посоветовать установить на самых высоких местах прочные железные шесты, и даже по нескольку штук; их следует заострить на концах, потому что такая форма способствует притяжению электричества. Затем я привязал бы к этим шестам длинные железные цепи, которые провел бы под землей до какого-нибудь пруда, озера или реки, чтобы разряжать туда электричество, и я не сомневаюсь, что как только сделают несколько опытов, то не замедлят найти способы сделать эти устройства более удобными и более надежными.

Вполне очевидно, что при приближении грозы эфир, коим перегружены тучи, в изобилии перейдет в эти шесты, которые от этого сильно наэлектри-

зуются, если цепи не доставят эфиру свободный выход, чтобы он рассеялся в воде или в недрах земли.

Итак, эфир из туч будет постепенно и спокойно входить в шесты и, входя, своими колебаниями вызовет свечение, которое будет видно на остриях этих шестов.

Во время гроз часто наблюдают такое свечение на верхушках колоколен;³ это верный признак того, что эфир из тучи здесь мирно разряжается, и все считают это добрым знамением, отводящим многие удары молнии.

На море тоже часто наблюдают на верхушках мачт огни, которые известны среди моряков под именем Кастора и Поллукса; и когда видят эти знаки, то считают себя в безопасности от ударов грома и молнии.

Большинство философов, сообщая об этих явлениях, относили их к числу суеверий, бытующих в народе, но мы знаем теперь, что эти народные приметы не лишены основания. Наоборот, они гораздо лучше обоснованы, чем большинство измышлений философов.

15 августа 1761 г.

ТОМ ТРЕТИЙ

*О знаменитой проблеме долгот.
Общее описание Земли, ее оси, двух ее полюсов
и экватора*

Мадам, В. В. согласится несомненно, что пора уже оставить электричество, тем более что мне нечего добавить по этому вопросу; однако я немало затруднен выбором темы, достойной внимания В. В.

Я полагаю, что, дабы сделать выбор, я должен приять во внимание, какие предметы наиболее для нас любопытны и о каких пишут чаще всего; это такие предметы, относительно которых можно предполагать, что знатные особы в должной мере о них осведомлены.

Поскольку разговоры о знаменитой проблеме долгот, за решение которой англичане обещали большие премии,¹ несомненно, не раз доходили до слуха В. В., я надеюсь, что мои познания найдут наилучшее применение, если я употреблю их на то, чтобы ввести В. В. в суть этого важного вопроса. Он тесно связан с представлениями о нашей Земле как о шаре, и потому игнорировать его непозволительно. Это доставит мне повод поговорить о множестве интересных вещей, о которых В. В. узнает с удовольствием.

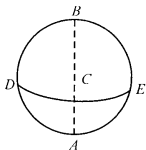
Поэтому я начну с того, что дам общее описание Земли, которую можно считать шаром, хотя в последнее время нашли, что ее истинная фигура — слегка сплюснутый сфероид;² но это отличие столь невелико, что мы пока можем им пренебречь.

Прежде всего мы должны отметить на поверхности земного шара две точки, называемые земными полюсами. Именно вокруг этих двух точек земной шар делает ежедневный оборот — подобно тому как вращают какой-нибудь шар, зажатый на токарном станке. Это движение называют суточным движением Земли; каждый оборот совершается за 24 часа. Или же, если мы захотели бы рассуждать, исходя из видимых движений, то В. В. известно, что все небо, которое представляется нам полной сферой, в середине коей находится Земля, кажется нам обращающимся вокруг Земли за тот же самый срок — 24 часа. Это же движение происходит также относительно двух неподвижных точек неба, которые называют полюсами неба.³ Теперь, если мы представим себе прямую линию, проведенную от одного из этих полюсов до другого, эта линия пройдет через центр Земли.

В. В. с легкостью поймет, что видимые движения должны быть одинаковыми, вращается ли Земля вокруг своих полюсов, а небо остается неподвижно, или же небо вращается вокруг своих полюсов, а неподвижной остается Земля. Как то, так и другое объяснение одинаково ведут нас к

представлению о полюсах Земли, на котором основана не только астрономия, но и география.

Пусть прилагаемый здесь рисунок изображает земной шар, полюса которого находятся в точках A и B ; один из этих полюсов, A , называется меридиональным, южным или полуденным, или еще антарктическим. Другой полюс, B , называется септентриональным — северным, или полуночным, или же арктическим. Именно этот последний более близок к странам, где мы живем.



Отмечу, что эти полюса прямо противостоят один другому, или, что то же самое, если провести между ними сквозь Землю прямую линию AB , она пройдет точно через ее середину C , т. е. через центр Земли. Эта прямая линия AB тоже имеет свое наименование и называется земной осью; если продолжить ее в обе стороны до самого неба, она укажет на небе точки, которые называют небесными полюсами; им дали те же наименования, что и полюсам Земли.

Эти два полюса Земли не выдумка и не результат домыслов астрономов и географов; наоборот, это очень важные точки на поверхности нашей Земли, так как мы знаем, что, чем более приближаются к одной из этих точек, тем край становится суровее и холоднее, так что местность вокруг этих точек совершенно необитаема по причине чрезмерного холода, который там царствует зимой; не было также случая, чтобы какой-нибудь путешественник, какой-нибудь корабль смог добраться до того или другого из полюсов.⁴ Поэтому можно сказать, что эти два места на Земле совершенно недостижимы.

Определив таким образом два полюса Земли, A и B , можно представить себе всю Землю разделенной на два полушария — DBE и DAE , из которых каждое увенчано одним из полюсов. Для этого нужно провести сечение через центр C Земли так, чтобы оно было перпендикулярно земной оси; это сечение обозначит на поверхности Земли окружность, которая опояшет всю Землю и повсюду будет одинаково удалена от обоих полюсов. Эта окружность, которая опоясывает всю Землю, пролегая по ее середине, называется *экватором*. Страны, которые расположены ближе к нему, — самые жаркие, и в античности думали, что они почти не населены; однако ныне известно, что они довольно населены, хотя тамошняя жара почти непереносима.⁵

При удалении же от экватора в обе стороны по направлению к полюсам климат делается все более умеренным, пока холод не становится наконец невыносим, когда слишком приближаются к полюсам.

Так как экватор делит Землю на два полушария, каждое из них носит то же наименование, что и полюс, который в нем находится. Так, половинка DBE называется северным полушарием, и именно в этом полушарии расположена вся Европа, почти вся Азия, часть Африки и половина Америки. Другое полушарие, DAE , называется южным, или полуденным; в нем нахо-

дится бо́льшая часть Африки, вторая половина Америки и множество островов, которые относят к Азии⁶ — В. В. вспомнит, как все это выглядит на карте мира.

В Берлине, 18 августа 1761 г.

Письмо 156

О величине Земли, о меридианах и кратчайшем расстоянии

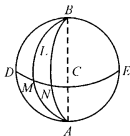
После того как мы твердо установили такие понятия, как полюса и экватор Земли, — В. В. сможет их лучше представить себе на глобусе, чем я могу изобразить на чертеже, — другие понятия будут из них выводиться без труда.

Я должен присовокупить, однако, еще одно очень важное разъяснение. Ось Земли, проходящая от полюса до полюса через центр Земли, — это *диаметр* земного шара, и, следовательно, она в два раза больше радиуса. Радиус Земли, или расстояние от любой точки ее поверхности до центра, оценивают в 860 немецких миль; значит, земная ось содержит 1720 немецких миль. Поскольку экватор — окружность, центр которой лежит в центре Земли, а его радиус — это радиус Земли, т. е. 860 миль, то диаметр экватора равен 1720 милям. Поэтому вся окружность экватора составляет 5400 миль, т. е., если бы кто-нибудь захотел обойти Землю по экватору, ему пришлось бы проделать путь в 5400 миль; из этого легко судить об огромности Земли.

Так как экватор — окружность, его делят на 360 равных частей, которые называют градусами; таким образом, один градус экватора содержит ровно 15 немецких миль, ибо 15 раз по 360 будет 5400.

Сверх того, каждый градус подразделяется на 60 равных частей, называемых минутами, так что каждая минута содержит четвертую часть немецкой мили, или около 6000 футов, а одна секунда, будучи одной шестидесятой частью минуты, будет содержать 100 футов.

Поскольку невозможно изобразить на бумаге шар иначе, как в виде круга, пусть В. В. дополнит рисунок воображением. Итак, если A и B — два полюса Земли, B — северный и A — южный, то $DMNE$ представит экватор, вернее, ту половину его, которая обращена к нам, в то время как другая его половина скрыта от нас на другой стороне шара. Поэтому линия $DMNE$ является полуокружностью так же, как BDA и BEA ; все эти полуокружности центром имеют центр C шара. Кроме этих полуокружностей, можно представить себе бесконечное число других, проведенных через два земных полюса, A и B , и проходящих через столько различных точек на экваторе, сколько имеется полуокружностей, таких, например, как BMA и DNA ; все они будут



подобны двум первым полуокружностям — BDA и BEA ; хотя на рисунке их начертания очень различны, воображение должно тут прийти на помощь, потому что на настоящем шаре это вполне очевидно.

Все полуокружности, проведенные от полюса к полюсу, через какую бы точку экватора они ни проходили, называются меридианами; иными словами, меридиан не что иное, как полуокружность, проведенная на поверхности Земли от одного полюса до другого,¹ из чего В. В. поймет, наверное, что, взяв какой-нибудь пункт на поверхности Земли, например точку L , всегда можно представить себе меридиан $BLMA$, который, проходя через оба полюса, пересекает эту точку L . В таком случае этот меридиан называют меридианом места L . Если, например, L — это Берлин, то полуокружность $BLMA$ будет меридианом Берлина; и точно так же для всех других пунктов на Земле.

В. В. достаточно представить себе шар, на поверхности которого изображены все страны на свете, как континенты, так и моря с их островами. Такой искусственный шар, который не может быть незнаком В. В., называют глобусом. Что касается всех меридианов, которые можно представить себе на нем, — и действительно множество их проведены на глобусе, — отмечу, что каждый из них, будучи полуокружностью, делится экватором на две равные части, из коих каждая является четвертью окружности, т. е. дугою в 90 градусов. Таким образом, BD , BM , BN , BE суть четвертые части окружности, так же как AD , AM , AN и AE ; поэтому каждая из них содержит по 90 градусов; можно еще добавить, что каждая из них перпендикулярна экватору, составляя с ним прямые углы.

Отмечу еще, что если бы кто-нибудь захотел пройти из точки M на экваторе к полюсу B , то самой короткой была бы дорога по меридиану MLB ; поскольку это — дуга в 90 градусов, а один градус содержит 15 немецких миль, самая короткая дорога составит 1350 миль, которые нужно пройти, чтобы добраться с экватора до одного из полюсов.

В. В. вспомнит, наверное, что самый короткий путь из одного пункта в другой — прямая, соединяющая эти два пункта; в нашем случае прямая, проведенная из точки M на экваторе к полюсу B , прошла бы внутри Земли путем, по которому двигаться нельзя, ибо мы столь привязаны к земной поверхности, что не можем ее покинуть. По этой причине вопрос ставится совсем иначе, когда речь идет о кратчайшем пути, ведущем из одного места в другое по поверхности шара. Кратчайший путь на поверхности шара — это уже не прямая линия, а дуга окружности, проведенная из одного пункта в другой по поверхности этого шара, и центр этой дуги лежит точно в центре самого шара. Это полностью соответствует нашему случаю, так как при передвижении из пункта M на экваторе к полюсу B дуга меридиана MLB , про которую я сказал, что это — кратчайший путь, является именно дугою окружности, коей центр находится в центре Земли.

Равным образом если мы будем рассматривать пункт L , расположенный на меридиане $BLMA$, то самым коротким путем из такого пункта к полюсу будет

дуга LB ; зная число градусов, содержащихся в этой дуге, и считая каждый градус по 15 миль, мы получим протяженность пути; а если бы кто-нибудь захотел переместиться из этого же пункта на экватор, придерживаясь кратчайшей дороги, он должен был бы двигаться вдоль дуги меридиана LM , число градусов которой, считая по 15 миль за градус, дало бы протяженность пути.

В общем, все довольны тем, что эти расстояния выражаются через градусы, потому что градусы так легко переводить в немецкие мили и потому что другие народы имеют в употреблении другие мили, более короткие или более длинные. Таким образом, взяв Берлин в качестве пункта L , находим, что дуга LM , которая ведет к экватору, содержит 52 с половиной градуса; следовательно, кратчайшая дорога из Берлина к экватору составляет 787 с половиной миль. Если же захотели бы пройти из Берлина на северный полюс, нужно было бы двигаться по дуге BL , которая, поскольку она содержит 37 с половиной градуса, составит 562 с половиной мили. Эти два расстояния, вместе взятые, дадут 1350 миль для дуги BLM , которая является четвертью окружности и содержит 90 градусов; их протяженность, как мы уже видели, составляет 1350 немецких миль.

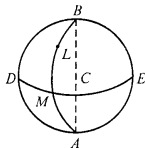
22 августа 1761 г.

Письмо 157

О широте и о том, как она влияет на времена года и продолжительность дня

Я снова начну с того же рисунка, который, наверное, уже знаком В. В. Полная окружность представляет земной шар; точки A и B — два его полюса, B — северный полюс, или арктический; A — южный полюс, или полуденный, или антарктический. Тем самым прямая BA , проведенная сквозь Землю и проходящая через ее центр C , будет земной осью. Наконец, DME — это экватор, делящий Землю на два полушария, одно — северное, DBE , и другое — южное, DAE .

Рассмотрим теперь некий пункт L и проведем его меридиан $BLMA$, который, будучи полуокружностью, проходит через пункт L и два полюса, B и A . Это будет, стало быть, меридиан пункта L , и он делится экватором в точке M на две равные части, являющиеся четвертями окружности, из коих каждая содержит 90 градусов. Затем я отмечу, что дуга LM этого меридиана дает нам расстояние от пункта L до экватора и что дуга LB выражает расстояние от того же пункта L до полюса B .



Коль скоро это так, нужно сказать, что дуга LM , или расстояние от пункта L до экватора, называется широтой пункта L ; следовательно, широта какого-либо пункта на Земле есть не что иное, как дуга меридиана этого пункта,

заключенная между экватором и данным пунктом; или, иначе, широта места — это расстояние от данного пункта до экватора, выраженное в градусах, а мы знаем, что каждый градус соответствует 15 немецким милям.

В. В. без труда поймет, что нужно различать эти расстояния в зависимости от того, находится ли пункт в северном полушарии или в южном; в первом случае, если данный пункт расположен в северном, или полуночном, полушарии, говорят, что у него северная широта, но если он в другом полушарии, южном, или полуденном, говорят, что широта у него южная.

Таким образом, поскольку речь идет о Берлине, говорят, что его северная широта равна 52 градусам 31 минуте; широта Магдебурга — тоже северная и равна 52 градусам 19 минутам. Но широта Батавии¹ в Ост-Индии² — южная и равна 6 градусам 15 минутам, а широта мыса Доброй Надежды в Африке — тоже южная и равна 34 градусам 15 минутам.

Замечу здесь попутно, что в целях краткости вместо слова «градус» ставят нолик (°) над числом, а вместо слова «минута» ставят черточку (′), а если есть и секунды, то ставят две черточки (″); так, широта Парижской обсерватории равна $48^{\circ}50'10''$, что означает 48 градусов 50 минут 10 секунд северной широты. В Перу есть место, называемое Ило,³ широту которого определили в $17^{\circ}36'15''$ Ю, или 17 градусов 36 минут 15 секунд южной широты. Из этого В. В. поймет, наверное, что, если будут говорить о пункте, широта которого $0^{\circ}0'0''$, этот пункт будет находиться в точности на экваторе, так как его расстояние от экватора равно нулю, или никакое. Здесь уже не нужно добавлять букву С или Ю. Но если мы придем в пункт, широта которого равна 90° С, то этот пункт будет северным полюсом Земли, который удален от экватора на четверть окружности, или на 90° . Из всего этого В. В. прекрасно поймет, что такое широта места и почему ее выражают через градусы, минуты и секунды.

Знать широту каждого места очень важно не только для географии, чтобы приурочить каждый пункт к его истинному местоположению на географических картах; от широты зависят также времена года, происходят неравенство дней и ночей и, следовательно, температура в этой местности. В странах, расположенных на самом экваторе, почти нет различий между сезонами, и круглый год дни и ночи имеют равную продолжительность, т. е. по 12 часов те и другие; именно по этой причине экватор называют также равноденственной линией. Но чем больше удаляются от экватора, тем более выраженными становятся различия между временами года и тем в большей степени день превосходит ночь летом, в то время как зимой, наоборот, дни настолько же короче ночей.

В. В. знает, что самые долгие дни — в начале лета, около 21 июня; соответственно в это же время ночи самые короткие; напротив того, в начале зимы, около 23 декабря, дни — самые короткие, а ночи — самые длинные, причем повсюду самый длинный день равен самой долгой ночи. Продолжительность же самого длинного дня в любой местности зависит от широты

места. Здесь, в Берлине, самый долгий день равен 16 часам 38 минутам и, следовательно, самый короткий день равен 7 часам 22 минутам. В местах, более близких к экватору или где широта меньше, чем в Берлине ($52^{\circ}31'$), самый долгий летний день короче 16 часов 38 минут, а зимой самый короткий день длиннее 7 часов 22 минут. Напротив, в местах, более отдаленных от экватора, например в Петербурге, широта которого 60° , самый длинный день равен 18 часам 30 минутам и, следовательно, ночь тогда длится только 5 часов 30 минут. Зимой, наоборот, самая длинная ночь продолжается 18 часов 30 минут, а день тогда равен всего лишь 5 часам 30 минутам. Если удалиться от экватора еще больше и добраться до пункта с широтой $66^{\circ}30'$, самый длинный день там продолжается ровно 24 часа или, иначе говоря, Солнце тогда не садится вовсе, в то время как зимой происходит противоположное, и Солнце 23 декабря не восходит вовсе, или, иначе говоря, ночь длится все 24 часа. В местах же, еще больше удаленных от экватора и, следовательно, более близких к полюсу, как например Вартюи в Шведской Лапландии,⁴ этот самый длинный двадцатичетырехчасовой день длится много суток подряд, когда Солнце вовсе не садится, а самая долгая ночь, когда Солнце совсем не восходит, имеет такую же продолжительность. Если бы мы могли добраться до самого полюса, то день там длился бы шесть месяцев подряд, а во время других шести месяцев была бы непрерывная ночь. Из этого В. В. поймет, наверное, как важно знать широту всех мест на Земле.

25 августа 1761 г.

Письмо 158

О параллелях, первом меридиане и долготах

Когда я имел честь говорить В. В., что для того, чтобы найти меридиан данного пункта L , нужно провести на поверхности Земли полуокружность $BLMA$, которая проходит через оба полюса B и A и через данный пункт L , я отметил, что имеется бесконечное множество других пунктов, через которые проходит этот меридиан; о них говорят, что все они расположены на одном меридиане, в северном ли полушарии между B и M , или в южном между M и A . Все пункты, расположенные на одном меридиане, различаются своею широтой; одни из них более близки к экватору, другие более удалены от него. Так, берлинский меридиан проходит через город Мейсен и вблизи порта Триест, а также через множество других мест, менее примечательных.



В. В. видит также, что бесконечное множество пунктов могут иметь одинаковую широту или быть одинаково удаленными от экватора, но все эти пункты находятся на разных меридианах. В самом деле, если L — это город Берлин, широта которого (или дуга LM) составляет $52^\circ 31'$, то можно отыскать на любом другом меридиане BNA пункт J , широта которого (или дуга JN) также равна $52^\circ 31'$; такими пунктами являются также F и G , взятые на меридианах BDA и BEA . Так как через каждую точку на экваторе можно провести меридиан, на котором найдется пункт, широта которого будет такой же, что и широта Берлина (или пункта L), то имеется бесконечное множество пунктов, имеющих одну и ту же широту. Все эти пункты будут располагаться на окружности $FLJG$, которая, поскольку все ее точки одинаково удалены от экватора, называется окружностью, параллельной экватору, или просто параллелью. Поэтому параллель на Земле — это не что иное, как окружность, параллельная экватору, или та, у которой все точки одинаково удалены от экватора, из чего ясно, что равным образом все точки параллели одинаково удалены и от полюсов Земли.

Поскольку через каждый пункт на Земле можно провести параллель, можно представить себе бесконечное число параллелей, различающихся между собой по широте, притом что каждая имеет свою широту, северную или южную.

В. В. поймет, наверное, также, что, чем больше широта, или чем более приближаются к одному из полюсов, тем параллели становятся короче, вплоть до того, что на самих полюсах, где широта равна 90° , параллели стягиваются в точку; наоборот, чем больше приближаются к экватору, или чем меньше широта, тем большую протяженность имеют параллели; в конце концов они сливаются с экватором, когда широта становится нулевой. Параллели различают именно по широте; так, параллель 30° — это та, что проходит через все пункты, широта которых — 30° ; однако пужно указывать, о какой широте идет речь — о северной или южной.

Обратившись к географическим картам, В. В. увидит, что Ганновер лежит на одной параллели с Берлином: широта того и другого — $50^\circ 31'$; и что равным образом города Брауншвейг и Амстердам почти попадают на эту же параллель,¹ но меридианы, которые проходят через эти пункты, различны. Зная же как меридиан, так и параллель, на которых лежит тот или иной пункт, из этого узнают его истинное местоположение на Земле. Например, если нам скажут, что некий пункт лежит на меридиане BNA и на параллели FLG , достаточно будет посмотреть, где меридиан BNA пересекается параллелью FLG , и пересечение даст J истинное местоположение данного пункта.

Именно этим методом пользуются географы, чтобы определять истинное положение любого места на Земле. Довольно знать параллель (или широту) и меридиан, который соответствует этой местности. Что касается параллели, то ее легко обозначить и отличить от всех остальных параллелей: достаточно указать широту, или расстояние от экватора, каковая широта может быть либо северной, либо южной. Но как обозначить меридиан и отличить его от всех

остальных? Все они совершенно сходны между собой, все равны и ни один не отмечен каким-нибудь признаком, отличающим его от прочих. Поэтому все зависит только от нашей воли — выбрать какой-нибудь меридиан и установить, что от него отсчитываются все остальные. Если бы на рисунке, помещенном в начале этого письма, был выбран меридиан BDA , было бы нетрудно описать нам любой другой меридиан, например BMA ; достаточно было бы указать нам дугу DM на экваторе, заключенную между установленным меридианом BDA и искомым BMA ; при этом добавить, в каком направлении нужно вести отсчет от установленного меридиана — к востоку или к западу, чтобы прийти к искомому.

Этот установленный меридиан, от которого считают все остальные меридианы, называют *первым меридианом*,² и, поскольку выбор этого первого меридиана зависит от нашей воли, В. В. не удивится тому, что нет единогласия между народами в этом вопросе. Французы избрали для этой цели остров Йерро³ — один из Канарских островов, и через этот остров они проводят свой первый меридиан. Немцы и голландцы проводят свой меридиан через другой остров Канарского архипелага, называемый Тенерифе.⁴ Но независимо от того, чью сторону принять, французов или немцев, нужно в любом случае тщательно отметить на экваторе точку, через которую проходит первый меридиан, и от этой точки отсчитывать по градусам другие точки, через которые проходят все остальные меридианы; как французы, так и немцы согласны в том, чтобы вести отсчет с запада на восток.

Таким образом, если бы на нашем рисунке полуокружность BDA была первым меридианом, а точки M и N на экваторе были расположены восточнее, то для того чтобы обозначить любой другой меридиан BMA , нужно было бы только указать величину дуги DM , и эту дугу называют долготой всех пунктов, лежащих на меридиане BMA . Если бы дело шло о пунктах, лежащих на меридиане BNA , их долготой была бы дуга DN экватора, выраженная в градусах, минутах и секундах.

29 августа 1761 г.

Письмо 159

О выборе первого меридиана

Теперь В. В. полностью осведомлены о том, что называют широтой и долготой места на Земле. Широта отсчитывается по меридиану от данного пункта до экватора; или, иначе, — это расстояние от параллели, проходящей через данный пункт, до экватора; при этом, чтобы не было никакой двусмысленности, нужно добавить, является ли эта широта северной или южной.

Что касается долготы, то нужно узнать, насколько меридиан данного места удален от первого меридиана, и это удаление считают по экватору от первого

меридиана до данного меридиана, двигаясь всегда с запада на восток; или, иначе, долгота — это расстояние от меридиана, выраженное в градусах экватора, как я уже только что говорил.

Поэтому считают всегда от первого меридиана к востоку, из чего В. В. поймет, что, когда счет дойдет до 360° , мы вернемся точно к первому меридиану, так как 360° заключают в себе всю окружность экватора. Поэтому, если говорят о местности, долгота которой 359° , меридиан этой местности будет удален от первого меридиана всего лишь на один градус, но к западу; равным образом 350° долготы соответствуют расстоянию в 10° к западу. Именно для того, чтобы избежать всякой двусмысленности в обозначении долгот, счет продолжают до 360° к востоку.

В. В. несомненно будет любопытно узнать, почему географы согласно решили провести первый меридиан через какой-либо из Канарских островов. На это я имею честь ответить, что таким способом хотели установить западные границы Европы, и поскольку Канарские острова (лежащие в Атлантическом океане от Испании в сторону Америки) полагают еще частью Европы, то нашли уместным провести первый меридиан через самый отдаленный из Канарских островов, чтобы можно было отсчитывать, не прерываясь, остальные меридианы не только через всю Европу, но и через всю Азию, откуда, продолжая отсчитывать их на восток, добираются до Америки и оттуда наконец возвращаются к первому меридиану.

Но которому из Канарских островов оказать предпочтение? Несколько французских географов избрали остров Йерро, а немцы — остров Тенерифе потому, что в те времена люди не были осведомлены насчет истинного местоположения этих островов и, быть может, не знали, который из них — более отдаленный. К тому же немцы полагали, что высокая гора, называемая пиком Тенерифе,¹ отмечена, если можно так выразиться, природой, чтобы через нее был проведен первый меридиан.

Как бы там ни было, почти смехотворно проводить первый меридиан через местность, положение которой плохо известно, так как местоположение Канарских островов было точнее определено лишь недавно. По этой причине астрономы, которые ведут свои изыскания с большей тщательностью, проводят первый меридиан так, что меридиан Парижской обсерватории отстоит от него ровно на 20° ,² не заботясь о том, через какую местность пройдет в этом случае первый меридиан. Это самое верное решение, какое можно принять, а наилучший способ правильно определить всякий другой меридиан — это найти его расстояние от парижского. Тогда, если этот меридиан проходит восточнее парижского, достаточно прибавить к его долготе 20 градусов, чтобы получить долготу пунктов, которые на нем расположены; но если этот меридиан проходит западнее парижского, то расстояние между этими меридианами вычитают из 20° . Наконец, если это расстояние (в западном направлении) превышает 20 градусов, его вычитают из 380° (т. е. из величины, превышающей 360° на 20°), чтобы получить долготу искомого меридиана.

Так, поскольку меридиан Берлина проходит восточнее парижского на $11^{\circ} 7' 15''$,³ долгота Берлина будет $31^{\circ} 7' 15''$; такова же долгота всех других пунктов, расположенных на том же меридиане, что и Берлин.

Равным образом, поскольку меридиан Петербурга проходит восточнее парижского на 28° , долгота Петербурга — 48° .

Меридиан Лондона в Сент-Джеймсе⁴ проходит западнее парижского на $2^{\circ} 25' 15''$; поэтому если отнять эту величину от 20° , остаток — $17^{\circ} 34' 30''$ — даст нам долготу Лондона в Сент-Джеймсе.

Рассмотрим также город Лиму в Перу; его меридиан удален от парижского к западу на $79^{\circ} 9' 30''$,⁵ которые нужно, следовательно, отнимать от 380° ; и мы найдем, что долгота Лимы — $300^{\circ} 50' 30''$.

Итак, когда известны как широта, так и долгота какой-то местности, мы можем отметить ее истинное местоположение на глобусе или на географической карте, поскольку широта обозначает параллель, на которой лежит местность, а долгота дает нам меридиан этой местности; точка, где эта параллель пересекает этот меридиан, будет соответствовать именно данному месту.

В. В. нужно лишь взглянуть на географическую карту, например Европы. В. В. увидит, что с обоих боков карты обозначены градусы параллелей, а сверху и внизу — градусы долготы, или насколько меридианы удалены от первого меридиана.

Обычно на картах проводят как параллели, так и меридианы либо по каждому градусу, либо только через каждые 5° . Обычно на картах меридианы проведены сверху вниз, а параллели — слева направо; иными словами, верх обращен к северу, низ к югу, или к полудню; правая сторона к восходу, или востоку, а левая — к закату, или к западу.

Наконец, нужно отметить также, что, поскольку все меридианы сходятся на двух полюсах, то, чем ближе два меридиана подходят к полюсу, тем меньше становится расстояние между ними; наибольшее расстояние между двумя меридианами — на экваторе. На любой хорошей карте, где проведены меридианы, В. В. это заметит: они сближаются сверху или к северу, а внизу, т. е. по мере приближения к экватору, расстояния между ними увеличиваются. Это служит лучшему пониманию географических карт, при помощи которых пытаются представить нам поверхность или часть поверхности земного шара.

Однако моя основная цель — показать, каким образом истинное местоположение каждой местности на Земле определяется широтой и долготой.

1 сентября 1761 г.

Письмо 160

*О методе определения широты
или повышения полюса*

Поскольку столь важно знать как широту, так и долготу каждой местности чтобы иметь представление, в какой точке поверхности Земли мы находимся, В. В. справедливо рассудит, что столь же важно придумать методы, которые могли бы доставить нам эти сведения.

В самом деле, если человек после долгого путешествия прибывает в некое место, будь то на суше или на море, ничто не может интересовать его более, чем то, в каком месте Земли он находится: вблизи какой-нибудь известной страны или местности, или нет? И какую нужно избрать дорогу, чтобы добраться туда? Единственный способ вывести этого человека из его затруднительного положения — это, безусловно, дать ему узнать широту и долготу места, где он находится. Но каким средством должен он воспользоваться, чтобы достичь этого, если предположить, что он находится на море или в какой-нибудь большой пустыне, где нет жителей, которых он мог бы расспросить? Узнав же свою широту и долготу, он, воспользовавшись глобусом или географическими картами, с легкостью отметил бы на них свое местонахождение, из чего мог бы извлечь все сведения, которые ему нужны.

Я покажу В. В., что способы узнавать как широту, так и долготу места, где мы находимся, доставляет нам главным образом астрономия. Но чтобы не наскучить В. В. долгим и подробным описанием всех методов, которые были созданы астрономами для этой важной задачи, я удовольствуюсь тем, что дам В. В. общее представление об этих методах, и смею льстить себя надеждой, что благодаря тому, как я за это возьмусь, представление это окажется достаточным, чтобы дать В. В. понимание принципов, на которых основаны все методы.

Я начну с определения по широте, которое не составляет почти никаких затруднений, в то время как нахождение долготы до сих пор представляется превосходящим возможность человеческого разума,¹ в особенности когда находятся на море и от определения требуется крайняя точность. Именно по этой причине за разрешение проблемы долгот были назначены весьма внушительные премии, чтобы тем вернее поощрить ученых сосредоточить на ней свои способности и усилия, дабы столь важное открытие стало соблазнительным вдвойне как почетом, так и деньгами, которые оно принесет своему автору.

Я возвращаюсь к широте и способам ее нахождения, отложив на другое время более исчерпывающий разговор о долготе и различных методах ее определения, особенно в морских путешествиях.

Пусть на прилагаемом чертеже точки B и A будут полюсами Земли, BA — ее осью, а C — ее центром; пусть полуокружность BDA представляет меридиан, пересекаемый экватором в пункте D , а BD и AD будут четвертями окружности

или дугами по 90° . Прямая линия CD будет тогда радиусом экватора, а DE — его диаметром.

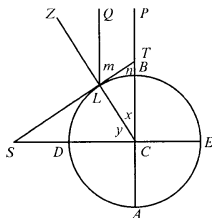
Пусть теперь на меридиане BDA будет точка L , заданный пункт, широту которого требуется определить, или, что то же самое — найти число градусов, содержащихся в дуге LD , измеряющей расстояние от пункта L до экватора; если провести радиус CL , то, поскольку дуга LD является мерой угла DCL (назовем его y), этот угол y будет выражать широту пункта L , которую и требуется отыскать.

Поскольку же нам не дано проникнуть в центр Земли, чтобы измерить этот угол, приходится прибегнуть к небу. Именно туда ведет продолжение земной оси AB — к северному полюсу P неба, который следует считать бесконечно удаленным от Земли. Надобно продолжить также радиус LC , который пересечется с небом в точке Z , называемой зенитом места; затем провести через L прямую линию ST , перпендикулярную радиусу CL , — В. В. вспомнит, наверное, что такая линия есть касательная к окружности и что она, следовательно, горизонтальна в точке L , так как наш горизонт всегда касается поверхности Земли в точке, где мы находимся.

Если посмотреть теперь из L на небесный полюс P , то, поскольку он бесконечно удален от Земли, прямая LQ , на него направленная, будет параллельна линии ABP , или земной оси; поэтому небесный полюс покажется лежащим между зенитом и горизонтом LT , и угол TLQ (обозначим его литерой m) укажет, насколько прямая LQ , направленная на полюс, возвышается над горизонтом; поэтому угол m называют возвышением полюса.

В. В. несомненно уже доводилось часто слышать о возвышении полюса, которое называют также высотой полюса и которое есть не что иное, как угол, образованный прямой LQ , направленной на полюс, и горизонтом места, где мы находимся. В. В. с легкостью поймет также, что определить этот угол можно при помощи особого астрономического инструмента, предназначенного для этой цели, так что у меня нет необходимости входить в подробности по этому поводу.

Коль скоро это так, я имею честь уверить В. В., что, как только будет измерен этот угол m , или высота полюса, этот же самый угол m даст нам в точности широту места L или угол y . Для этого достаточно показать, что эти два угла — m и y — равны между собой. Во-первых, поскольку линия LQ параллельна CP ,² то m и n — накрестлежающие углы, и, следовательно, они равны между собой. Затем, так как линия LT перпендикулярна радиусу CL , угол L треугольника CLT будет прямым, а два других угла этого треугольника, n и x , вместе составят также прямой угол. Но поскольку дуга BD занимает



четверть окружности, угол BCD также будет прямым; поэтому углы x и y вместе составят столько же, сколько два угла n и x . Вычтем угол x из обеих частей уравнения; тогда окажется, что угол y равен углу n и, следовательно, равен также углу m .

Но я уже отмечал, что угол y выражает широту места L , а угол m — возвышение или высоту полюса в том же пункте L . Поэтому широта местности всегда равна высоте полюса в этой местности. Следовательно, методы, которые доставляет нам астрономия, чтобы измерять высоту полюса, дают нам искомую широту.

Именно таким образом наблюдения, проведенные в Берлине, позволили нам узнать, что высота полюса там равна $52^\circ 31'$, и из этого мы вывели, что широта Берлина также $52^\circ 31'$.

Это — весьма замечательный пример того, как небо может просветить нас о вещах, относящихся лишь к Земле.

5 сентября 1761 г.

Письмо 161

Первый способ подойти к определению долгот — по оценке пройденного пути

Я перехожу теперь к рассмотрению долгот и отмечу, что, отправляясь как по морю, так и по суше из пункта, долгота которого известна, можно легко найти долготу места, куда мы прибыли, если точно знать длину пути и направление, которому следовали; долгота в этом случае может быть найдена без помощи астрономии, и это заслуживает того, чтобы я представил В. В. более подробные разъяснения.

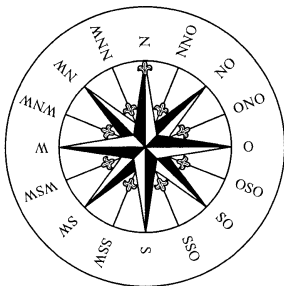
Что касается длины пути, то она измеряется в футах; известно затем, сколько футов составляют милю и сколько миль в дуге, содержащей один земной градус; именно так можно было бы проделанный путь выразить в градусах.

Что же касается курса или направления пути, то необходимо знать положение меридиана в каждой местности, где мы находимся. Поскольку меридиан идет в одном направлении к северному полюсу, или к северу, а в другом — к южному полюсу, или к югу, достаточно провести в плоскости горизонта через пункт, где мы находимся, прямую линию с севера на юг; ее называют полуденной линией этого места. Нужно приложить все старания к тому, чтобы провести эту линию точно, и в этом небо еще раз должно послужить нашим наставником.

В. В. знает, что если Солнце стоит выше всего над горизонтом — значит наступил полдень; именно тогда Солнце находится точно на юге, и тень от палки, поставленной вертикально на горизонтальной плоскости, будет падать тогда точно на север; из этого легко понять, как наблюдения Солнца достав-

ляют нам возможность правильно провести полуденную линию, в какой бы местности мы ни находились. Если полуденная линия проведена, все остальные направления или курсы определяются без труда.

Пусть на прилагаемом рисунке прямая NS будет полуденной линией, ее оконечность N пусть будет направлена на север, а южная — на юг. Проведем перпендикулярно к этой полуденной линии NS прямую OW, оконечность которой O будет направлена к востоку (который по-немецки называют Ost), а другая оконечность W — к западу (который называется West). После этого, разделив круг на шестнадцать равных частей, получим столько же направлений, обозначенных проставленными против них буквами, а если следуют курсом, не совсем совпадающим ни с одним из этих шестнадцати, отмечают угол, составленный им с полуденной линией NS или с линией OW, которая ей перпендикулярна.

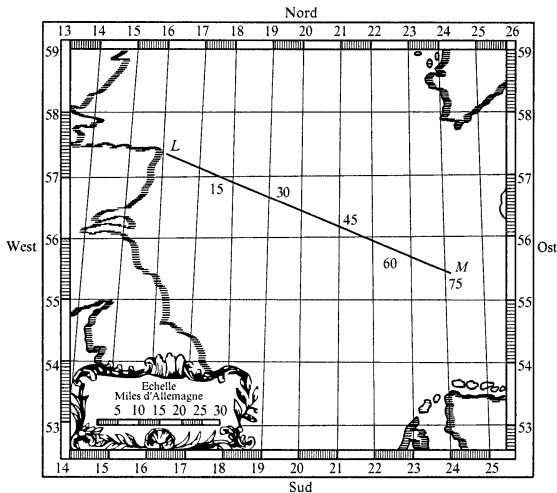


Именно таким способом можно точно определить курс, которым следуют в пути, и всегда, когда достоверно известны как длина пути, так и направление, которому следовали, очень просто определить точно место, куда прибыли, и приписать ему некоторую широту и долготу. Для этого нужно воспользоваться хорошей географической картой таких размеров, чтобы на ней имелась как та местность, откуда отправились в путь, так и та, куда прибыли; на эту карту можно будет нанести пройденный путь, воспользовавшись шкалой, на которой указан масштаб мили на этой карте.

Прилагаемый рисунок представляет такую карту, где градус за градусом отмечены как параллели, идущие слева направо, так и меридианы, проведенные сверху вниз, и можно заметить также, что наверху, в северной стороне, меридианы более сближены, чем внизу, в южной, как это в самом деле имеет место на Земле. Эта карта обнимает участок земной поверхности с 53° северной широты до 59° и с 13° долготы до 26° .

Предположим теперь, что мы отбыли из места L, долгота которого 16° и широта $57^\circ 20'$, и держались курса OSO, которым прошли путь в 75 немецких миль. Чтобы найти долготу и широту места, куда мы прибыли, нужно провести из точки L прямую LM, которая составляла бы с меридианом 16° такой же угол, какой на предыдущем рисунке направление OSO составляет с NS. Затем нужно будет отложить в соответствии с изображенной на карте шкалой отрезок LM в 75 немецких миль — и точка M будет тем местом, куда мы прибыли.

Теперь остается только сопоставить этот пункт с меридианами и параллелями, проведенными на карте, и мы увидим, что его долгота очень близка к 24° , а измерив точнее часть градуса, которую нужно прибавить к 24° , найдем,



что долгота пункта M — $24^\circ 4'$. Что касается широты, мы видим, что она находится между 55-м и 56-м градусами и ее можно оценить в $55^\circ 25'$; так что широта места M , куда мы прибыли, — $55^\circ 25'$, долгота — $24^\circ 4'$.

Здесь я предположил, что на всем пути, мы следовали одному направлению, обозначенному OSO; но если бы время от времени меняли курс, довольно было бы при каждом изменении его проделывать ту же операцию, находя пункт, где мы были до поворота, а затем из этого пункта откладывать последующее направление, покуда оно снова не будет изменено, и т. д., до тех пор, пока мы не придем в последний пункт. Применяя этот метод, всегда можно определять в пути места, куда мы прибыли, если точно знать, по какому направлению движемся, и столь же точно измерять длину пройденного пути.

В этом случае можно даже обойтись без помощи астрономии, если только в ней не возникает необходимость, чтобы точнее определить направление и угол, который оно составляет с меридианом. Но намагниченная игла или компас часто могут удовлетворить этой потребности.

Однако В. В., наверное, поймет без труда, что можно очень существенно ошибиться в оценке направления и длины пути, особенно в долгих путешествиях. Сколько раз я меняю направление, когда еду всего лишь в Магдебург? И как мог бы я точно измерить длину пути? Однако, когда путь протекает по суше, мы не ограничены только этим методом; в этом случае мы имеем возможность посредством геометрических операций измерять расстояния между пунктами и углы, образуемые этими расстояниями с полуденными линиями каждого пункта; именно таким способом довольно точно определяют местоположение каждого пункта.

8 сентября 1761 г.

Письмо 162

Продолжение предыдущего письма и о недостатках этого первого метода

В морских путешествиях описанный выше метод, когда отмечается курс, которым следуют, и длина пройденного пути, может оказать большую помощь, потому что в море мы не бываем вынуждены постоянно менять направление, как это происходит, когда путешествуют по суше, ибо, если дует постоянный по направлению ветер, можно следовать постоянным курсом.

Поэтому штурманы, которые ведут суда, проявляют много заботы о точных наблюдениях за курсом, которым следует судно, и об измерениях пройденного судном пути: они ведут журнал с точными записями всех наблюдений и в конце каждого дня или еще чаще отмечают пройденный ими путь на своих морских картах, где изображены морские просторы; благодаря этому они в состоянии для каждого момента установить по карте точку, где они находятся и для которой знают, следовательно, как широту, так и долготу. Если плавание проходит спокойно и если судно не попало в бурю, штурманы, как правило, не ошибаются; когда же у них есть причина не доверять себе, они прибегают к астрономическим наблюдениям, из коих они определяют высоту полюса, которую, поскольку она всегда равна широте места, где они находятся, сравнивают с той, что они пометили на карте в соответствии со своей оценкой пути. Если штурманы видят, что определения совпадают, это доказывает, что данная ими оценка была верна; если обнаруживается какая-то разница, они из этого с уверенностью заключают, что ошиблись в расчетах направления и пути; они более тщательно проверяют расчеты и стараются внести в них верные поправки, чтобы со-

гласовать расчеты с наблюдениями высоты полюса или широты, которая ему равна.

В коротких путешествиях этой предосторожности может оказаться достаточно, потому что ошибки, которые при этом бывают, почти не имеют последствий. Но в дальних путешествиях эти небольшие ошибки могут накапливаться до такой степени, что в конце пути ошибка становится очень грубой; поэтому место, где пребывают в действительности, очень отличается от того, в котором полагают, что находятся, глядя на карту.

До сих пор я предполагал, что путешествие протекает довольно спокойно. Если же представить себе теперь, что разразилась сильная буря, во время которой судно подвергалось сильнейшим ударам ветра и волн, — ясно, что в этом случае любые оценки направления и длины пути полностью искажаются и нанести на карту пройденный путь совершенно невозможно.

После таких событий вполне возможно определить широту своего местонахождения при помощи астрономических наблюдений, но это позволило бы узнать только параллель места, а относительно меридиана, соответствующего положению судна, оставалась бы по-прежнему полная неизвестность. Поэтому все возвращается к тому, что необходимо знать также и долготу места, которая укажет нам меридиан, под которым оно находится; тогда пересечение этого меридиана с найденной параллелью даст истинное местонахождение судна. Из этого В. В. поймет, как важно дать штурманам способ, который определяет также и долготу места.

Однако не только бури делают это необходимым; даже если путешествие проходит спокойно, можно очень грубо ошибиться в оценке как направления, так и длины пути. Если бы можно было считать, что море неподвижно, тогда нашлось бы довольно средств достаточно точно определить направление и длину пути, хотя в долгих путешествиях такой способ действий все равно мог бы приводить к весьма значительным ошибкам. Однако слишком хорошо известно, что во многих районах моря имеются быстрые течения, так что оно подобно реке, которая течет, следуя определенному направлению. Так, было замечено, что Атлантическое море ¹ непрерывно втекает в Средиземное море через Гибралтарский пролив, ² а в огромном Атлантическом океане есть очень сильное течение с востока на запад, ³ так что из Европы в Америку добираются гораздо быстрее, чем обратно.

Если бы эти течения были постоянными и изученными, знание их очень помогало бы вносить поправки в наши оценки; но замечено, что течения становятся то быстрее, то медленнее и часто изменяют свое направление; это настолько нарушает расчеты самых умелых судоводителей, что расчетам этим нельзя доверять, не подвергая себя величайшей опасности. К сожалению, имеется множество примеров того, как моряки, полагавшие, что они еще очень далеко от мест, изобилующих подводными камнями, садились на рифы и погибали. Последствием стало ясно, что виновниками этих несчастий были морские течения, поскольку они нарушали расчеты штурманов.

В самом деле, если само море обладает движением и течет, как река, в определенном направлении, то суда, которые в нем находятся, уносятся им так, что это невозможно заметить. Когда нас несет река, мы это без труда замечаем, глядя на берега или видя речное дно. Но в море не видно никакой земли, и глубина его слишком велика, чтобы можно было увидеть дно. Поэтому на море нет возможности увидеть, сносит ли судно, и именно по этой причине столь грубо ошибаются как в направлении, так и в длине пути. Поэтому из-за бурь или по другой причине в любом случае есть необходимость в поисках иных методов определения долготы места, где оказалось судно, и именно об этих способах находить долготу, которые были предложены до настоящего времени, я буду иметь честь беседовать с В. В.

12 сентября 1761 г.

Письмо 163

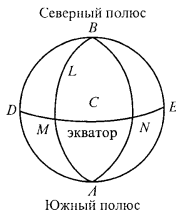
Второй метод определения долгот — с помощью точных часов

Весьма верным средством определить долготу могли бы быть часы, пружинные или маятниковые, столь совершенные, идущие всегда столь равномерно и точно, что никакие сотрясения, которые они могли бы испытать во время путешествия, не были бы в состоянии изменить их ход.

Предположим, что такие часы сумели сделать,¹ и покажем, как посредством их можно было бы разрешить проблему долгот. Для этого я должен вернуться к рассмотрению меридианов, которые мы будем считать проведенными через все пункты на Земле.

В. В. знает, что Солнце ежедневно совершает оборот вокруг Земли² и, значит, оно последовательно проходит над всеми меридианами в двадцать четыре часа;³ о Солнце говорят, что оно проходит над каким-то меридианом или через какой-то меридиан, когда прямая линия, проведенная от Солнца через центр Земли *C*, проходит точно через этот меридиан. Таким образом, если в данный момент прямая, проведенная от Солнца через центр Земли, пересекает меридиан *BLMA*, мы скажем, что Солнце проходит через этот меридиан и что в этом случае во всех пунктах, лежащих на этом меридиане, — полдень. Но на всяком ином меридиане в это время будет не полдень, а время либо до полудня, либо после полудня.

Если меридиан *BNA* пролегает восточнее меридиана *BMA*, то Солнце, совершая свой оборот с востока на запад, пройдет через меридиан *BNA* раньше,



чем достигнет меридиана *BMA*, поэтому полдень на меридиане *BNA* наступит раньше, чем на меридиане *BMA*. Следовательно, когда будет полдень на этом последнем, полдень уже минует на всяком ином меридиане, лежащем далее к востоку, где будет уже время после полудня. Напротив, время еще до полудня будет на любом меридиане *BDA*, лежащем западнее, потому что Солнце достигнет его лишь после того, как пройдет через меридиан *BMA*.

Наконец, поскольку движение Солнца происходит равномерно и оно совершает полный оборот вокруг Земли (равный 360°) в двадцать четыре часа, оно будет за каждый час проходить дугу в 15° . Поэтому, когда в Берлине полдень, так же как во всяком ином пункте, лежащем на этом же меридиане, полдень уже минует на всех меридианах, лежащих восточнее; в частности, на меридиане, находящемся на 15° к востоку от берлинского, будет уже час дня; на меридиане, удаленном на 30° , — 2 часа; на меридиане, удаленном на 45° , — три часа пополудни и т. д. В пунктах, расположенных на меридианах более западных, чем берлинский, будет наоборот: если здесь, в Берлине, полдень, то на меридиане, отстоящем на 15° , будет только 11 часов; на меридиане, удаленном на 30° , — 10 часов утра; 9 часов утра — на меридиане, отстоящем на 45° к западу, и т. д. Разница в 15° между меридианами всегда будет давать 1 час разницы во времени.

Чтобы разъяснить еще лучше то, что было сказано выше, рассмотрим два города, Берлин и Париж; поскольку меридиан Берлина лежит на $11^\circ 7' 15''$ к востоку от меридиана Парижа,⁴ то, считая по часу за 15° , эта разница в $11^\circ 7' 15''$ даст 44 минуты 29 секунд разницы во времени, или около трех четвертей часа. Поэтому, когда в Париже полдень, в Берлине уже 44 минуты 29 секунд пополудни, и, наоборот, когда здесь, в Берлине, полдень, в Париже — время еще до полудня, и часы там будут показывать только 11 часов 15 минут 31 секунду; так что полдень там наступит лишь через 44 минуты 29 секунд. Из этого можно видеть, что в данный момент часы в Берлине должны показывать больше, чем они показывают в Париже, и что эта разница должна составлять 44 минуты 29 секунд.

Разница между меридианами Берлина и Магдебурга составляет $1^\circ 14',^5$ на которые Берлин восточнее Магдебурга.⁶ Эта разница, пересчитанная на время, дает 6 минут 40 секунд — на столько берлинские часы должны показывать больше, чем магдебургские. Следовательно, если в Магдебурге полдень или если часы (я предполагаю, что они поставлены правильно) показывают там 12 часов, часы в Берлине в тот же самый момент должны показывать 12 часов 6 минут 40 секунд, так что там уже послеполуденное время.

В. В. видит из этого, что, если пункты различаются по долготе или расположены под разными меридианами, правильно поставленные часы должны показывать там различное время в один и тот же момент, и что эта разница должна составлять целый час, если разница в долготе равна 15° . Каждые 15° должны давать разницу в 1 час, которую должны отметить правильно поставленные часы в различных пунктах в один и тот же момент времени.

Поэтому, если бы захотели воспользоваться часами, чтобы определять долготу пунктов, через которые проезжают, нужно сначала правильно поставить эти часы в каком-нибудь пункте. Это делают, наблюдая наступление полудня, каковой является моментом, когда Солнце проходит через меридиан данного места, и часы тогда должны показывать ровно 12 часов. Затем часы должны быть отрегулированы так, чтобы через каждые 24 часа, когда Солнце возвращается к тому же меридиану, стрелка, сделав два оборота, возвращалась бы в точности к 12 часам; если это хорошо соблюдается, такие часы будут в согласии с другими правильно поставленными часами, но лишь на этом же меридиане. Однако, если эти и другие часы находятся на разных меридианах или, что то же самое, имеется различие в долготах, время, которое будут показывать те и другие часы в один и тот же момент, тоже будет различным. Так что разнице в каждые 15° долготы отвечает целый час разницы во времени, показываемом этими часами.

Наоборот, зная эту разницу во времени, показанном правильно поставленными часами в различных пунктах в один и тот же момент, можно легко судить о разнице между их долготами, считая всегда 15° за 1 час и четверть градуса — за 1 минуту.

15 сентября 1761 г.

Письмо 164

Продолжение предыдущего письма и дальнейшие разъяснения

Удивление В. В. по поводу того, что правильно поставленные часы должны показывать разное время на разных меридианах, будет значительно меньшим, если В. В. сообразовал поразмыслить о том, что, когда у нас полдень, на востоке есть такие страны, где Солнце уже заходит, а на западе — такие, где Солнце еще только восходит. Из этого следует, что в одних странах — вечер, а в других — уже утро, и все это в то самое время, когда у нас еще полдень. Наконец, В. В. знает также, что у наших антиподов, живущих на меридиане, противоположном нашему, царит ночь, когда у нас день, так что когда у нас полдень, у них полночь.

После этих разъяснений мне будет легко показать, как исправные часы могут дать нам возможность узнать разницу между меридианами, или, что то же, разницу в долготе между различными пунктами.

Для этого предположим, что у меня есть такие превосходные часы, которые, будучи однажды правильно поставлены, показывают всегда правильное время,* в точности то, что здесь, в Берлине, — всякий раз, как в Берлине полдень,

* Здесь следует подразумевать среднее время,¹ соотношение которого с истинным временем узнается из астрономических таблиц. Автор позволял себе не проводить здесь это различие, которое завело бы его в слишком докучные подробности.

они показывают ровно 12 часов; предположим также, что они идут безукоризненно и мне больше не нужно к ним прикасаться после того, как они были однажды поставлены; наконец, что ход их не будет нарушаться, возьму ли я их в экипаж или они будут находиться на борту судна в открытом море, подвергаясь всевозможной тряске и качке.

Теперь пусть я совершу с этими часами путешествие по суше или по морю, совершенно уверенный, что эти часы всегда сохраняют свой ход, как если бы я оставался в Берлине, и каждый день будут показывать 12 часов в тот самый момент, как в Берлине наступит полдень, в каком бы месте я ни находился. Путешествуя, я приезжаю сначала в Магдебург. Там я наблюдаю, как Солнце проходит через меридиан, что происходит тогда, когда оно находится точно на юге; и, поскольку в этот момент в Магдебурге полдень, я смотрю на свои часы и вижу, что они показывают 12 часов 6 минут 40 секунд. Из этого я заключаю, что, когда в Магдебурге полдень, в Берлине уже время после полудня и что разница во времени между ними — 6 минут 40 секунд, которые соответствуют $1^{\circ} 40'$ — на столько меридиан Магдебурга лежит западнее, чем меридиан Берлина. Поэтому, поскольку долгота Берлина — $31^{\circ} 7' 15''$, долгота Магдебурга будет на $1^{\circ} 40'$ меньше, или равна $29^{\circ} 27' 15''$.

Оттуда я отправляюсь в Гамбург вместе со своими часами, к которым я не притронулся, и, наблюдая там полдень (ибо я не стал бы доверять городским часам, отбивающим там время), вижу, что на моих часах уже 12 часов 13 минут 33 секунды; значит, в Берлине уже 13 минут 33 секунды после полудня, когда в Гамбурге — полдень. Из этого я заключаю, что меридиан Гамбурга проходит на $3^{\circ} 23' 15''$ западнее берлинского: считая по 15° за час и, следовательно, по 1° за 4 минуты времени, находим, что 13 минут 33 секунды времени дают $3^{\circ} 23' 15''$ для разности между меридианами. Поэтому долгота Гамбурга будет $27^{\circ} 44' 2''$.

Из Гамбурга я отплываю на корабле вместе со своими часами и, проделав долгий путь, прибываю в некое место, где, дождавшись полудня (момент наступления коего я определяю, наблюдая за Солнцем), вижу, что мои часы показывают всего лишь 10 часов 58 минут 15 секунд; значит в Берлине сейчас еще дополуденное время, а разница равна 1 часу 1 минуте 45 секундам; из этого я заключаю, что место, куда я прибыл, находится к востоку от Берлина и поскольку 1 час соответствует 15° , минута времени — $15'$ и 45 секунд времени — $11' 15''$, то разница между меридианами будет $15^{\circ} 26' 15''$. Значит, я нахожусь в пункте, расположенном на восток от Берлина, и долгота этого пункта на $15^{\circ} 26' 15''$ больше, чем долгота Берлина. Поскольку эта последняя равна $31^{\circ} 7' 15''$, долгота места, где я нахожусь, будет $46^{\circ} 33' 30''$. Итак, я знаю, на каком я меридиане, но все еще пребываю в неизвестности относительно того, в каком именно пункте этого меридиана. Для того чтобы это узнать, я прибегаю к астрономическим наблюдениям и ищу высоту полюса, которую нахожу равной в точности 41° . Помня, кроме того, что я все еще в северном полушарии Земли, так как экватора не пересекал, я узнаю, что нахожусь в настоящее время в месте, лежащем под 41° северной широты и $46^{\circ} 33' 30''$ долготы; тогда я беру геогра-

фическую карту, провожу меридиан, долгота которого $46^{\circ} 33' 30''$, ишу на нем пункт с широтой 41° и нахожу, что этот пункт — город Константинополь;³ спрашивать у кого-нибудь о названии города мне не пришлось.

Таким же образом в любом месте на Земле, куда я приеду со своими безукоризненными часами, я с их помощью определяю долготу, а затем наблюдение высоты полюса укажет мне и широту. Тогда мне останется только взять глобус или хорошую географическую карту, и будет нетрудно отметить точку, соответствующую месту, где я нахожусь, сколь бы ни была мне прежде незнакомой эта страна.

Однако достойно сожаления, что самые умелые часовщики до сих пор не научились делать столь безупречные часы, каких требует этот метод. Бывают очень хорошие маятниковые часы, но они идут правильно, только если установлены в совершенно спокойном помещении. Малейшие толчки и даже легкие покачивания способны расстроить их ход; поэтому такие часы с маятником совершенно бесполезны в путешествии. Легко понять, что движение маятника, регулирующее их ход, не сможет выдержать сотрясений, которым они будут подвергаться в пути. Однако около десяти лет назад один английский мастер похвалялся тем, что сделал часы, нечувствительные к дорожной тряске, и утверждали даже, что, возя их длительное время в карете, не обнаружили в них ни малейшего расстройств; по этому поводу изобретателю незамедлительно выплатили часть премии, предназначенной за способ находить долготу, а остальное должно было быть уплачено после того, как будут проведены испытания в длительном морском путешествии.⁴ Однако с тех пор газеты о нем более не упоминали; из этого можно предположить, что эта попытка провалилась,⁵ так же как и множество других, затевавшихся с тою же целью.

19 сентября 1761 г.

Письмо 165

Затмения Луны как третий метод определения долгот

За отсутствием столь замечательных часов, как те, о которых я имел честь дать представление В. В., затмения Луны до сей поры считались самым верным средством определять долготы. Жаль, однако, что эти явления происходят столь редко и нельзя воспользоваться ими всякий раз, как в этом возникнет необходимость.

В. В. знает, что Луна затмевается, когда проходит через тень Земли; при этом можно отметить как момент, когда Луна начинает погружаться в земную тень, так и мгновение, когда она из нее выходит; первый из этих моментов называется началом затмения, второй — его концом. Если отмечены оба эти момента, время, среднее между ними, называется серединой затмения. Иногда

Луна целиком погружается в земную тень и остается некоторое время совершенно невидимой; такое затмение называется полным, и в этом случае можно отметить еще два момента: когда Луна исчезает полностью и когда она начинает выходить из тени. Первый из них называется началом полного затмения, а второй — концом полного затмения. Если же затмевается только часть Луны, такое затмение называется частным, и в этом случае отмечают лишь моменты, когда оно начинается и когда кончается. Наконец, В. В. знает, что лунные затмения бывают только в полнолуние, и то довольно редко.

Установив это, пойдем дальше. Когда наблюдают лунное затмение из двух различных пунктов, лежащих под разными меридианами, то начало затмения увидят в один и тот же момент, но часы в этих пунктах не будут показывать один и тот же час; я говорю о правильно поставленных часах, из коих каждые показывают ровно 12 часов, когда наступает полдень в том месте, где они находятся. Если эти два пункта лежат на одном меридиане, те и другие часы, конечно, покажут одинаковое время как в момент начала, так и в момент конца затмения; но если эти два меридиана отстоят друг от друга на 15° или, иначе, если разница их долгот составляет 15° , показания часов должны различаться на целый час как в момент начала, так и в момент конца затмения; в местности, лежащей восточнее, часы покажут на час больше; равным образом разница в 30° долготы дает разницу в два часа во времени, показанном часами; разница в 45° долготы дает разницу в три часа времени и т. д. в соответствии с прилагаемой таблицей.

Разница в долготе, $^\circ$	Разница во времени, час
15	1
30	2
45	3
60	4
75	5
90	6
105	7
120	8
135	9
150	10
165	11
180	12

Отсюда видно, что, если бы различие в долготе составляло 150° , разница во времени составляла бы 10 часов как в начале, так и в конце затмения.

Наоборот, когда наблюдают одно и то же затмение из двух разных мест и точно отмечают время по часам как в начале, так и в конце затмения, из разницы между показаниями тех и других часов можно заключить о том, насколько эти два пункта различаются по долготе. Тот из них, чье время — более позднее, будет восточнее, и, следовательно, его долгота больше, потому что долготы считают с запада на восток.

Именно таким способом определили долготу самых важных пунктов на Земле и в соответствии с этими определениями начертили географические карты. Однако всегда было необходимо сравнивать наблюдения, сделанные в пункте, долгота которого была еще неизвестна, с наблюдениями, уже проведенными в месте известном, и по этой причине приходилось ждать, пока такое сравнение становилось возможным. Поэтому, если бы я прибыл после долгого пути в не-

известное место и там представился случай наблюдать лунное затмение, это еще ничего бы мне не дало, для того чтобы сразу же узнать мою долготу. Я должен был бы дожидаться своего возвращения, чтобы иметь возможность сравнить мое наблюдение с каким-нибудь другим, сделанным в месте известном, и таким образом слишком поздно я бы узнал, где именно я был когда-то. Мне же хотелось бы знать это на месте, чтобы сообразовать с этим свои действия.

Однако по этому поводу можно не печалиться с тех пор, как мы знаем движение Луны столь точно, что можем не только предсказывать все затмения, но и указать момент начала и конца каждого затмения по часам какого-нибудь известного пункта. В. В. знает, что наши берлинские календари указывают всегда для каждого затмения начало и конец его по берлинскому времени. Поэтому тот, кто хочет предпринять длительное путешествие, может купить берлинский календарь и, когда представится случай, пронаблюдать в незнакомом месте лунное затмение, точно заметить время по часам, которые он правильно поставит в этой местности по полдню, и ему останется только сравнить моменты начала и конца затмения с указанными в календаре, чтобы установить разницу между берлинским меридианом и тем, что проходит через местность, где он сейчас находится.

Однако этот способ, помимо того недостатка, что лунные затмения бывают очень редко, имеет еще один: нельзя достаточно точно установить момент, когда затмение начинается и когда оно кончается, поскольку это происходит почти незаметно, и вполне можно ошибиться во времени на несколько секунд. Но поскольку ошибка будет примерно одной и той же для начала и для конца затмения, то находят среднее время между двумя отмеченными моментами; оно будет соответствовать середине затмения; затем сравнивают это время с тем, что календарь указывает для Берлина или какого-нибудь другого известного места.

Наконец, в том случае, если календарь на будущий год еще не напечатан тогда, когда кто-то отправляется в путешествие, или если путешествие может продлиться несколько лет, отыскивают другие книги, в которых затмения уже высчислены на много лет вперед.

22 сентября 1761 г.

Письмо 166

Наблюдения затмений спутников Юпитера дают четвертый метод определения долгот

Затмения Солнца также могут служить для определения долгот, но другим способом, который требует более глубоких изысканий. Причина в том, что само Солнце при этом отнюдь не гаснет; не что иное, как Луна, располагается перед Солнцем и мешает лучам добираться до нас: происходит примерно то же самое, как если бы я поставил перед Солнцем свою шляпу, чтобы закрыться

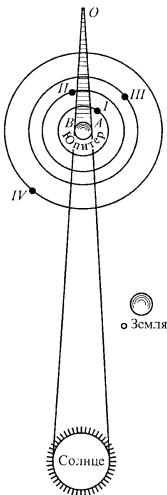
от света; это не мешает тому, чтобы другие видели его во всем блеске. Подобным же образом Луна закрывает Солнце только от некоторой части обитателей Земли, и мы можем наблюдать затмение Солнца здесь, в Берлине, в то время как в Париже у солнечного света не будет никакого ослабления. Луна же по-настоящему затмевается земной тенью, и ее свет от этого уменьшается или гаснет; поэтому лунные затмения видны одинаковым образом отовсюду, где Луна находится над горизонтом во время затмения.

Из этого В. В. поймет, наверное, что если бы существовали в небе еще и другие тела, которые претерпевали бы время от времени подобное же истинное затмение, их можно было бы использовать с таким же успехом, как и затмения Луны, чтобы определять долготы. Такими телами являются спутники Юпитера, которые к тому же столь часто проходят через тень своей планеты, что почти не бывает ночи, когда бы один из них не затмился, так что затмения спутников Юпитера дают нам весьма удобный метод определения долгот; астрономы пользуются им с большим успехом.

В. В. знает, что у Юпитера четыре спутника,¹ которые совершают свои обращения вокруг него каждый по своей орбите, как я это изобразил здесь при помощи окружностей, описанных вокруг Юпитера. Я изобразил также Солнце, чтобы начертить тень AOB за Юпитером. На нашем рисунке первый спутник, обозначенный I , вот-вот войдет в тень, второй, обозначенный II , только что из нее вышел, третий (III) еще очень далек от того, чтобы войти в тень, а четвертый (IV) давно из нее вышел.

Как только один из спутников входит в тень, он становится невидимым, и это происходит почти внезапно так что где бы в это время ни находилась Земля, видно, как спутник вдруг исчезает, хотя до тех пор он был виден отчетливо. Подобное вступление спутника в тень Юпитера называется «вступлением в тень», а его выход из тени — «концом затмения»; тогда видят, как внезапно появляется спутник, который сколько-то времени был невидим.

Как вступления в тень, так и выходы из нее равно пригодны для определения долгот, ибо они наступают в точно определенный момент времени; когда это явление наблюдают из многих различных пунктов Земли, то находят между показаниями часов в каждой местности именно такую разницу, какой требует разница в меридианах, как если бы наблюдали начало и окончание затмения; и тогда все становится совсем просто. Уже некоторое время тому назад научились предсказывать затмения спутников Юпитера, иными словами, их вступления в



тень и выходы из тени, и нужно только сравнить время, отмеченное в наблюдениях, со сроками, вычисленными для какого-нибудь известного места, например для Берлина, чтобы вывести из этого сравнения удаление своего меридиана от берлинского.

Этим методом пользуются повсюду, путешествуя по суше; но на кораблях, где необходимость в определении долгот наиболее настоятельна, еще не научились пользоваться этим методом, чтобы удостовериться в своем местонахождении. Если бы спутники Юпитера были видимы простым глазом столь же хорошо, как и Луна, применение этого метода на море не встретило бы никаких затруднений, но, поскольку нельзя увидеть спутники Юпитера иначе, как в телескоп длиною по меньшей мере в четыре или пять футов,² это обстоятельство создает непреодолимое препятствие.

В. В. знает, что, когда на суше пользуются сколько-нибудь длинным телескопом, какое нужно умение, чтобы направить его на объект, который хотят наблюдать, и твердо держать телескоп, дабы не потерять объект! Из этого В. В. без труда сделает вывод, что на море, где корабль подвергается непрерывной качке, почти невозможно отыскать и самый Юпитер, и если его даже найдут, в тот же миг потеряют из поля зрения. Но чтобы как следует вести наблюдение за погружением или выходом какого-нибудь из спутников Юпитера, непременно нужно, чтобы была возможность спокойно наблюдать его некоторое время. Поскольку на море это невозможно, от этого метода определения долготы, надо думать, придется отказаться.

Однако есть два средства поправить дело: первый — сделать короткий телескоп, например шести дюймов длиною или еще короче, который позволял бы нам достаточно отчетливо увидеть спутники Юпитера, так как нет никакого сомнения, что обращаться с таким коротеньким телескопом будет гораздо легче, чем с другими длиною в пять или шесть футов. В настоящее время весьма успешно работают над этим усовершенствованием телескопа,³ и очень похоже, что добьются успеха; но еще предстоит выяснить, не потребует ли этот усовершенствованный телескоп такой же ловкости, чтобы направить его на объект, что и обычные, более длинные.

Другой способ мог бы заключаться в том, чтобы оборудовать на судне такое неподвижное гнездо, где не ощущалась бы качка; представляется, что искусное балансирование могло бы привести к цели. В самом деле, недавно мы прочли в газетах, что один англичанин утверждал, будто изобрел подобное гнездо,⁴ или кресло, и претендовал на премию, назначенную за определение долгот. У него были для этого основания, потому что, применяя этот способ, можно было бы наблюдать на море вступления в тень и выходы из нее спутников Юпитера, которые, безусловно, вполне пригодны для определения долготы; но с того времени об этом ничего не слышно.

В. В. может судить по всему этому, со сколькими трудностями связано определение долготы.

26 сентября 1761 г.

Письмо 167

*Движение Луны дает пятый метод
определения долгот*

Небо доставляет нам еще одно средство определять долготу без необходимости прибегать к телескопу, и похоже, что астрономы возлагают на него самые большие надежды. Этой цели должна послужить Луна, и не только тогда, когда она затмевается, но всегда, когда она видима; это, безусловно, самое большое преимущество, потому что затмения происходят слишком редко, да и вступления в тень и выходы из нее спутников Юпитера также происходят не по нашей воле, потому что в каждом году есть довольно продолжительный период, когда планета Юпитер невидима; в то же время Луна почти всегда у нас перед глазами.

В. В., несомненно, случалось заметить, что Луна с каждым днем восходит примерно на три четверти часа позже. Причина здесь та, что Луна не привязана к определенному месту среди звезд, но от одного дня к другому очень значительно перемещается относительно неподвижных звезд, которые всегда сохраняют свое взаимное положение, хотя и кажется, что небо их уносит, совершая ежесуточный оборот вокруг Земли. Я говорю здесь о явлениях видимых или кажущихся, так как на самом деле это Земля каждый день оборачивается вокруг своей оси, а небо и неподвижные звезды пребывают в покое, в то время как Солнце и планеты постоянно перемещаются относительно неподвижных звезд. Луна же подвержена очень большим переменам, и именно это делает ее подходящей для определения долгот.

Если сегодня Луна видна близ некоторой неподвижной звезды, завтра в тот же час она появится значительно дальше к востоку, и это расстояние порою превышает 15° . Скорость ее движения не всегда одинакова, однако эту скорость научились рассчитывать весьма точно применительно к каждому дню, что дает нам возможность знать наперед точное положение Луны на небе в каждый час каждых суток, считая время по часам, находящимся на каком-нибудь известном меридиане, например на меридиане Берлина или Парижа.

Установив это, предположим, что после длительного путешествия я нахожусь в море в совершенно незнакомом месте, и посмотрим, как я мог бы воспользоваться Луной, чтобы узнать долготу моего местонахождения, так как в том, что касается широты, не встречается никаких затруднений, даже на море; известны весьма надежные методы измерять высоту полюса, а широта всегда ей равна. Поэтому я направлю все свое внимание на Луну, сравню ее положение с неподвижными звездами, наиболее к ней близкими, и из этого установлю ее точное положение на небе относительно неподвижных звезд. В. В. знает, что есть небесные глобусы, на которых отмечены все неподвижные звезды, и что есть также карты звездного неба, подобные географическим картам, на которых изображают неподвижные звезды, на-

ходящиеся в какой-либо части неба. Поэтому на карте, где будут указаны неподвижные звезды, что в данный момент соседствуют с Луной, мне будет нетрудно отметить точно место, где сейчас находится Луна, а мои часы, которые я правильно поставил в этом пункте, зафиксировав полдень, дадут мне время этого наблюдения. Затем, зная, как движется Луна, я вычисляю для Берлина, в какое время Луна должна была там появиться в той точке неба, где я ее видел. Если отмеченное в моем наблюдении время в точности соответствует берлинскому, это говорит о том, что я нахожусь на берлинском меридиане, и, следовательно, долгота — та же самая. Но если время моего наблюдения отличается от соответствующего берлинского времени, это различие укажет мне на то различие, которое существует между меридианами, и, считая по 15° на каждый час времени, я смогу вычислить, насколько долгота моего местоположения больше или меньше долготы Берлина; долгота местности, где время более позднее, всегда будет больше.

Вот краткое описание этого метода определения долготы путем обычных наблюдений Луны. Для того же, чтобы лучше преуспеть в этом деле, можно добавить, что точно определить положение Луны удобнее всего в тот момент, когда какая-нибудь неподвижная звезда прячется за Луну; это называют «покрытием», и можно наблюдать два момента — тот, когда Луна в своем движении накрывает звезду, и другой, когда звезда появляется вновь. Астрономы очень стараются точно уловить моменты покрытий, чтобы установить по ним истинное положение Луны.

Наконец, я жду возражения В. В. по поводу часов, маятниковых или пружинных, которыми, как я предположил, наделен наш наблюдатель моряк, после того как я утверждал, что невозможны совершенные часы, идущие всегда равномерно, невзирая на качку корабля. Но эта невозможность относится только к таким часам, которые остаются точными в очень длительном интервале времени, так что их не нужно ставить снова. Для тех же наблюдений, о которых здесь идет речь, довольно обычных карманных часов, поскольку они идут равномерно в течение некоторого времени, после того как их правильно поставят по полудню того места, где находятся. Если возникают сомнения в том, что на них все еще можно положиться вечером или ночью, когда будут наблюдать Луну, — звезды укажут нам верное средство снова поставить их правильно: поскольку положение Солнца относительно звезд нам в точности известно для любого времени, то одного наблюдения какой-нибудь звезды достаточно, чтобы определить, в каком месте Солнце должно сейчас находиться; из этого мы можем вывести, какое время должны были бы показывать часы, будь они точными. Таким образом, в тот же самый момент, когда мы наблюдаем Луну, мы сможем также поставить наши часы по звездам, а в течение столь короткого интервала времени любые часы можно считать идущими равномерно.

29 сентября 1761 г.

Письмо 168

*О преимуществах этого последнего метода
по сравнению с предыдущими
и о степени его точности*

Среди различных способов находить долготу последний, основанный на наблюдениях Луны, представляется заслуживающим предпочтения, поскольку другие либо связаны со слишком большими трудностями, либо случай воспользоваться ими выпадает слишком редко. В. В. поймет без труда, что успешность этого метода зависит только от степени точности, достигнутой наблюдателем, и что если при этом допускаются ошибки, то они должны вести к заключениям, на которые нельзя полагаться. Поэтому было бы очень важно объяснить В. В., на какую степень точности можно рассчитывать, применяя этот метод; поскольку он основан на тех изменениях, которые положение Луны претерпевает от суток к суткам, мы можем из этого сделать вывод, что если бы движение Луны было еще более быстрым, оно было бы еще более пригодным для определения долгот и обеспечило бы нам большую степень точности. Но если бы, напротив того, это движение было намного более медлительным и мы почти не могли бы разглядеть изменений, происходящих от суток к суткам, очевидно, что мы не могли бы получить от него никакой помощи в отыскании долгот.

Итак, предположим, что Луна перемещается среди неподвижных звезд на расстояние 12° за 24 часа (ее перемещение на самом деле по большей части более значительно); стало быть, она переместится на 1° за два часа и на полградуса или на $30'$ — за час. Следовательно, если в наблюдениях Луны мы ошибемся на $30'$, это будет то же самое, как если бы мы наблюдали Луну часом раньше или позже, и в нашем выводе о разнице меридианов мы получим ошибку в целый час. Один же час разницы соответствует 15° долготы, и, значит, мы ошибемся на 15° в той самой долготе места, которую мы ищем. Конечно, эта ошибка столь огромна, что не знать ничего было бы примерно то же самое. Если бы мы ограничились оценкой нашего пути, т. е. направления и длины дороги, то какой бы ни была ненадежной эта оценка, мы не совершили бы столь грубой ошибки.

Правда, чтобы ошибиться в местоположении Луны на $30'$, нужно быть очень уж неумелым и пользоваться крайне грубыми инструментами, что трудно предположить.

Однако, какими бы ни были превосходными инструменты и какое бы тщание ни прилагалось к этому делу, какой-то ошибки избежать невозможно и нужно обладать большим умением, чтобы, определяя положение Луны, ошибиться не более чем на минуту. Поскольку же положение Луны изменяется на $30'$ за 1 час или 60 минут времени, то на $1'$ оно изменится за две минуты

времени. Поэтому, когда, определяя положение Луны, ошибаются не более чем на $1'$, от этого в разности между меридианами возникнет ошибка в две минуты времени; поскольку 1 час, или 60 минут, соответствуют 15° долготы, получается ошибка в полградуса долготы, и эта степень точности могла бы быть удовлетворительной, если бы мы могли ее достичь.

До сих пор я полагал наши знания о движении Луны столь совершенными, что для известного меридиана мы можем определить точное положение Луны в каждый момент без всякой ошибки. Но мы еще очень далеки от такой степени совершенства. Еще 20 лет назад в этих расчетах ошибались на $6'$ и более, и только значительно позднее искусный профессор Майер из Геттингена, следуя предложенным мною путем, добился того, что эта ошибка стала, как правило, менее одной минуты. Поэтому вполне может случиться, что и в расчетах мы также ошибемся на $1'$. Эта минута, будучи прибавлена к ошибке, допущенной при определении положения Луны (тоже в $1'$), удвоила бы ошибку, что отразилось бы на определении долготы места, где мы находимся; следовательно, наша ошибка может увеличиться до целого градуса. Нужно еще отметить, что если бы Луна за 24 часа проходила расстояние больше 12° , ошибка в долготе была бы менее значительной.

Быть может, найдут средство еще уменьшить ошибки, которые мы совершаем как в наблюдениях, так и в расчетах, и тогда этот метод даст нам долготу с точностью по крайней мере до градуса. Но и без этого усовершенствования можно надеяться достичь более высокой степени точности. Нужно только делать несколько тождественных наблюдений, что возможно, если оставаться несколько дней в одном месте, тогда можно не бояться, что все определения будут в равной мере ошибочными; одни из них укажут искомую долготу слишком большой, другие — слишком малой. Следовательно, если найти среднюю величину из всех определений, можно быть уверенным, что выведенная таким способом долгота отличается от истинной значительно меньше, чем на градус.

Англичане же, которые по щедрости своей захотели поощрить это открытие, назначили за него три премии, одну в 10 000, другую в 15 000 и третью в 20 000 фунтов стерлингов. Первая из них предназначается тому, кто сможет определять долготу с точностью до градуса, т. е. чтобы можно было пребывать в убеждении, что ошибка не превышает одного градуса. Вторая обещана тому, кто удовлетворит требованию еще большей точности, так что ошибка, которой можно будет опасаться, никогда не превысит двух третей градуса (или 40 минут). Наконец, третью из этих премий присудят тому, кто сможет определять долготы столь точно, что ошибка никогда не выйдет за пределы половины градуса, или 30 минут; на более высокую степень точности не посягают. Все эти премии до сих пор остаются в целости, за исключением доли, выданной тому часовщику, который утверждал, что сделал совершенные часы. Г-н Майер в настоящее время претендует на самую высокую из премий и, на мой взгляд, — по праву.

3 октября 1761 г.

Письмо 169

О компасе и свойствах магнитной стрелки

Должно быть, В. В. теперь немало осведомлены в том, что относится к нахождению долгот: я имел честь представить В. В. многие пути, которые могут вести к их определению. Первый и самый естественный — это тщательно следить за направлением и отмечать длину пути; однако бури, коим часто подвергаются на море, а также течения делают этот способ непригодным.

Второй требует создания столь совершенных часов, чтобы они шли всегда равномерно, невзирая на толчки и сотрясения, которым они подвергаются в путешествии. Однако мастера еще не сумели создать такой инструмент.

Третий основан на наблюдении лунных затмений, и ничего лучшего не надо было желать; единственный недостаток его заключается в том, что такой случай представляется слишком редко, и им нельзя воспользоваться тогда, когда это более всего нужно.

Четвертый — основан на затмениях спутников Юпитера, которые были бы очень пригодными для этой цели, если бы был найден способ пользоваться на море телескопами, без которых нельзя увидеть эти спутники.

Наконец, наблюдения самой Луны доставили нам пятый способ, который представляется наиболее доступным, если только мы в состоянии наблюдать положение Луны на небе с такой точностью, чтобы ошибки, избежать которых невозможно, никогда не превышали одной минуты, дабы мы были уверены, что, определяя долготу, ошиблись не более чем на один градус.

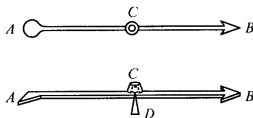
Те, кто до сих пор работал над этой проблемой, направляли свою мысль главным образом именно на эти пять методов, но есть еще и шестой, который может быть столь же пригодным, чтобы привести нас к разрешению этой проблемы, в том случае если он будет лучше разработан, и, может быть, однажды он доставит нам самое верное средство определять долготу, хотя в настоящее время мы от этого еще очень далеки.

Этот метод не выводится из небесных явлений, он связан единственно с Землей, будучи основан на свойствах магнита и компаса. Необходимость разъяснить этот метод открывает передо мной новое поприще — познакомить В. В. с важной главой физики, относящейся к магнитной силе; я надеюсь, что В. В. с удовольствием почтит своим вниманием те объяснения, которые я буду иметь честь предложить по этому вопросу.

Поначалу я ограничу свои рассуждения тем предметом, о котором здесь идет речь, т. е. определением долгот, и для этого мне довольно отметить вообще, что магнит — это минерал,¹ который обладает свойством притягивать железо и располагаться в определенном направлении, и что он сообщает такое же свойство железу и стали, когда их трет о магнит или хотя бы только прикасаются ими к магниту. Однако я надеюсь в дальнейшем глубже исследовать это свойство и объяснить его природу.

Поэтому начну с того, что дам описание *намагниченной иглы*, которая, будучи установлена и оправлена определенным образом для нужд навигации, носит название *компас*.

Для этой цели из хорошей стали изготавливают иглу, по форме похожую на ту, что изображена на прилагаемом рисунке; один конец ее *B* заострен, чтобы лучше отличать его от другого конца *A*. В центре *C* она имеет небольшую выемку снизу, чтобы можно было установить иглу на шпильку или штифт *D*, как это можно видеть на втором рисунке.



Предположим, что обе половины иглы выравнены и полностью уравновешивают друг друга и что игла может свободно поворачиваться на шпильке; значит, в какое бы положение мы ее ни поставили, она может оставаться в этом положении, пребывая в покое, или равновесии.

Прежде чем намагничивать иглу, следует закалить ее, чтобы сделать ее насколько возможно твердой. Затем пусть ее потрут или прикоснутся к ней хорошим магнитом, и она сразу же станет магнитной. Два конца ее не будут более уравновешиваться,² но один, *B*, опустится вниз, как если бы он стал тяжелым, так что для того, чтобы вернуть иглу в равновесие, нужно убавить сколько-нибудь с конца *B* или добавить небольшой вес на конце *A*. Поэтому мастера, предвидя это изменение, вызванное магнетизмом, с самого начала делают конец *B* более легким, чем другой конец *A*, чтобы игла, после того как ее намагнитят, сама собой приняла бы горизонтальное положение.

После этого игла или стрелка приобретает еще одно свойство, гораздо более примечательное: она теперь не остается неподвижной и безучастной во всех положениях, как прежде, но избирает одно предпочтительно перед всеми остальными и сама собой располагается так, что конец *B* направлен примерно на север, а другой конец *A* — на юг; или, что то же самое, направление намагниченной стрелки более или менее совпадает с полуденной линией.

В. В. припомнит, наверное, что, для того чтобы провести полуденную линию, которая указывает нам север и юг, нужно провести астрономическое наблюдение, поскольку это направление определяется движением Солнца и звезд; так что, если у нас нет необходимых инструментов и в особенности если небо покрыто тучами, оно нам никак не поможет провести полуденную линию. Вот почему это свойство магнитной стрелки тем более замечательно: она в любое время и в любой местности указывает нам направление на север, от которого зависят и все остальные — восток, юг и запад. По этой причине употребление магнитной стрелки, или компаса, стало всеобщим, поскольку во многих случаях совершенно необходимо знать эти основные направления на страны света.

Однако в навигации компас дает наибольшие преимущества, ибо курс корабля всегда должен быть ориентирован относительно какой-либо из стран

света, чтобы двигаться к заданному пункту в соответствии с географическими или морскими картами, указывающими нам направление движения, коего надлежит держаться. Так, до открытия компаса люди были не в состоянии совершать большие путешествия по морю; едва решались они удалиться от берегов и, как только теряли их из виду, подвергались риску заблудиться в море. Если только небо не было ясным и звезды не указывали страны света.

Не зная направления на страны света, корабль в открытом море пребывает в таком же точно положении, как человек с завязанными глазами, которому нужно пройти к кафедральному собору в Магдебурге. Такой человек, воображая, что он идет в одну сторону, пойдет совсем в другую. Поэтому именно компас является основным вожатым в навигации, и только после этого важного открытия люди осмелились пересечь Великий океан и открыли Новый Свет.

В самом деле, что делал бы без компаса штурман во время или после бури, когда он не может получить никакой помощи от неба? Какой бы курс он ни взял, он не знает, идет ли он на север или на юг, или еще в каком-нибудь направлении. Вскоре он заблудился бы так, что уже не смог бы спастись. Но компас сразу же выведет его из этого великого затруднения, указав ему страны света, и не даст заблудиться. Из этого В. В. сможет легко заключить, насколько важным было открытие магнитной стрелки, или компаса.

6 октября 1761 г.

Письмо 170

О склонении компаса и о способе его наблюдения

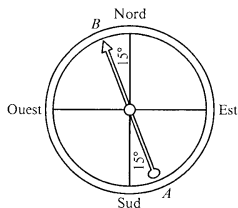
Хотя магнитная стрелка предпочитает определенное положение — с юга на север — имеются случайные причины, которые могут отклонить ее от этого направления; следовательно, их, этих причин, нужно стараться тщательно избегать. Направление изменяется от соседства какого-нибудь магнита, куска железа или стали. Едва В. В. поднесет нож к магнитной стрелке, стрелка эта сразу же отойдет от своего естественного направления и повернется к ножу, а, двигая нож вокруг стрелки, можно заставить ее принять любое возможное положение. Поэтому, дабы удостовериться, что стрелка располагается в направлении, для нее естественном, необходимо удалить от нее всякое железо и сталь, так же как и магниты. Этому условию удовлетворить тем легче, что эти вещества отклоняют стрелку, лишь когда находятся близко. Как только их сколько-нибудь отдалляют, их действие становится неощутимым, если только это не очень сильный магнит, который может воздействовать на стрелку на расстоянии нескольких футов.

Однако такого влияния не следует опасаться со стороны простого железа, и поэтому компасом можно пользоваться даже в железных рудниках, где добывают железную руду; В. В. поймет без труда, что в подземных шахтах попадают в такое же положение, как и на море, когда небо закрыто облаками, и что там в

такой же степени необходимо сообразоваться со странами света, чтобы вести шахты в определенном направлении. Здесь тоже чертят планы, на которые наносят направления всех коридоров, прорытых под землей, и всех изгибов, и, делая это, руководствуются только компасом. Это — предмет науки, которую называют подземной геометрией,¹ а по-немецки — *Markscheidkunst*.

Чтобы вернуться к нашему компасу, или магнитной стрелке, я сразу сделал оговорку, что она направлена к северу лишь приблизительно; в самом деле, заблуждаются, когда говорят по обыкновению, что магнит имеет свойство поворачиваться к северу. Сделав множество магнитных стрелок, я неизменно находил, что здесь, в Берлине, их направление отклонялось от истинной полуденной линии примерно на 15° ; ошибка же эта уже весьма значительна.

На прилагаемом здесь рисунке изображена, во-первых, истинная полуденная линия, проведенная с севера на юг, а затем другая, ей перпендикулярная, указывающая направо восток, а налево запад. Магнитная стрелка *AB* направлена не по полуденной линии, а отклоняется от нее на угол *BO Nord*, равный 15° ; этот угол называют склонением (или иногда — вариацией) компаса,² или магнитной стрелки; и, поскольку конец *B* стрелки, наиболее близкий к северному направлению, тоже называемый северным, отклоняется от этого направления к западу, говорят, что склонение западное, и величина его — 15° .



Определив однажды величину склонения магнитной стрелки, можно пользоваться ею столь же уверенно, как если бы она показывала точно на север. Обычно стрелку обводят окружностью, и тогда остается только пометить север на верном расстоянии от северного (*B*) конца стрелки так, чтобы она отклонялась от него на 15° к западу; тогда линия север—юг даст нам истинную полуденную линию и четыре главные стороны света — север, восток, юг и запад.

Чтобы лучше скрыть секрет, магнитную стрелку прячут в картонный кружок,³ как показано на рисунке, с той разницей, что стрелка теперь не видна, так как картон составляет с нею единое целое; все вместе помещают на установленную в центре шпильку так, чтобы круг со стрелкой мог свободно вращаться. Тогда кружок будет принимать всегда такое положение, что точка, обозначенная «север», будет направлена прямо на север, в то время как конец стрелки, которой не видно, в действительности отклоняется от севера к западу на угол в 15° . Это устройство служит только для того, чтобы избавиться от склонения, на которое невежественные люди смотрят как на изъян, хотя это скорее явление, заслуживающее нашего восхищения, что мы увидим вкратце; картон же только увеличивает вес стрелки и не дает ей вращаться столь свободно, как она вертелась бы, если бы была легче.

Чтобы избежать этого и наилучшим образом использовать компас, стрелку помещают в круглую коробку, окружность которой разделена на 360° , и, кроме того, на нее нанесены названия основных стран света. В центре находится шпилька, или штифт, на который насажена стрелка; когда она принимает определенное направление, коробку поворачивают до тех пор, пока северный конец (*B*) стрелки не совпадает с соответствующей точкой окружности, т. е. с пятнадцатым градусом, считая с севера на запад; тогда обозначения, нанесенные на окружность, будут соответствовать истинным сторонам света.

Тем не менее на море пользуются стрелками, упрятыми в картонные кружки, причем на 360° разделена окружность самих этих кружков, чтобы не было нужды поворачивать коробку; в этом случае, поскольку картонный кружок, называемый компасом, верно указывает страны света, достаточно сопоставить с ним курс, которым идет судно, чтобы узнать, куда оно плывет, на север или на юг, на восток или на запад или по какому-нибудь промежуточному направлению. По компасу определяют и ветра, т. е. стороны, откуда они дуют, — потому что названия им дают по этим направлениям. Однако нужно хорошо знать склонение, или вариацию, компаса; мы нашли, что здесь, у нас, оно — западное и равно 15° , но в других местах на Земле оно может быть другим, как я буду иметь честь показать в дальнейшем.

10 октября 1761 г.

Письмо 171

Об изменении склонения магнитной стрелки, наблюдаемом в одном и том же месте

Когда я сказал, что склонение компаса — 15° к западу, это относилось лишь к Берлину и к настоящему времени, так как замечено, что не только в разных областях Земли это склонение различно,¹ но оно также меняется со временем в одном и том же месте.

Так, в Берлине магнитное склонение в настоящее время гораздо больше, чем прежде. Я очень хорошо помню, как оно равнялось всего 10° , а в прошлом веке было время, когда оно было нулевым, так что тогда положение магнитной стрелки точно совпадало с полуденной линией. Это случилось около 1670 г., и с тех пор склонение последовательно становилось все больше и больше, вплоть до 15° , как сейчас; однако есть признаки, что с этого времени оно будет уменьшаться,² пока снова не станет нулевым. Правда, это только догадка, и мы еще весьма далеки от того, чтобы уверенно предсказывать что-нибудь относительно этого явления.

Кроме того, мы знаем достоверно, что до эпохи 1670 г. склонение было противоположным, т. е. восточным, и чем далее мы движемся в глубь времен,

тем более значительным становится это восточное склонение. Однако мы не можем углубиться далее, чем до того времени, когда были открыты свойства магнитной стрелки; это время приходится на четырнадцатое столетие,³ а здесь, в Берлине, стали обращать внимание на склонение магнитной стрелки гораздо позднее, чем эта стрелка стала известна, так как сначала не заметили, что магнитная стрелка отклоняется от полуденной линии.

Однако в Лондоне, где были более внимательны к этому явлению, отметили, что магнитное склонение в 1580 г. было $11^{\circ} 15'$, восточное; в 1622 г. — $6^{\circ} 0'$, восточное; в 1634 году — $4^{\circ} 5'$, восточное; в 1657 г. магнитное склонение отсутствовало, а в 1672 г. оно уже было западным и равнялось $2^{\circ} 30'$; в 1692 г. — $6^{\circ} 0'$, западное. В настоящее время оно вполне могло достигнуть 18° к западу или более. Из этого В. В. может увидеть, что в начале минувшего века склонение было восточным и составляло около 8° , что затем оно постепенно уменьшалось, пока не стало неощутимым в 1657 г., а после того оно стало западным и увеличивается по сие время.

В Париже склонение менялось примерно в той же последовательности, но было равным нулю в 1666 г., или на 9 лет позже, чем в Лондоне; из этого В. В. может видеть, сколь причудливо разнятся магнитные склонения как в различных пунктах на Земле в одно и то же время, так и в одном и том же месте в разное время.⁴

Сейчас не только во всей Европе, но и во всей Африке и большей части Азии склонение — западное, но в некоторых местностях оно больше, а в других меньше, чем у нас. В Европе есть страны, где оно больше, чем у нас, а именно в Шотландии и Норвегии, где склонение значительно превышает 20° ; в Испании, Италии и Греции оно, напротив, меньше — около 12° . На западных побережьях Африки оно составляет примерно 10° , а на восточных — 12° . Но по мере продвижения по Азии на восток склонение постепенно уменьшается и даже вовсе исчезает в центре Сибири, в Енисейске. Кроме того, его нет в Китае (в Пекине) и в Японии, но за пределами этих стран, далее к востоку, склонение становится восточным и все более увеличивается в северной части Тихого океана, если двигаться по направлению к западным берегам Америки. Далее оно снова уменьшается, пока не исчезнет вовсе в Канаде, во Флориде, на Антильских островах и бразильском побережье. За пределами этой области, далее к востоку, т. е. ближе к Европе и Африке, склонение снова становится западным, как я уже отмечал.

Чтобы составить полное представление о современном распределении магнитных склонений, нужно было бы иметь возможность указать для всех пунктов как на суше, так и на море величину магнитного склонения и какое оно — западное или восточное. Такое полное знание было бы весьма желательно, но надеяться на него нечего: для этого нужно, чтобы повсюду были знающие люди, которые, определяя каждый в своем пункте магнитное склонение, аккуратно сообщали бы нам результаты своих измерений; при этом нам пришлось бы ждать несколько лет, пока придут сообщения от самых

дальних наблюдателей. Следовательно, мы получили бы полную картину лишь через несколько лет. Хотя за два или три года склонение магнитной стрелки изменяется незначительно, это изменение, сколь бы малым оно ни было, все же помешало бы тому, чтобы знание результатов всех наблюдений, сделанных в различных областях Земли, полностью раскрыло нам современное состояние этого явления — склонения магнитной стрелки.

То же относится и ко временам прошедшим; каждому году соответствует некоторая величина магнитного склонения, свойственная этому году, отличающая этот год от всех других, прошлых и будущих. Однако было бы куда как хорошо, если бы мы располагали подробной картиной распределения магнитного склонения хотя бы для одного какого-нибудь года — и мы не замедлили бы извлечь из нее весьма важные выводы.

Покойный г-н Галлей,⁵ знаменитейший английский астроном, пытался дать картину магнитного склонения для 1700 г., построенную на большом количестве наблюдений, сделанных во многих местах, как на суше, так и на море; однако ему пришлось оставить «белым пятном» весьма обширные области, где такие наблюдения не производились; кроме того, большая часть использованных им наблюдений была сделана за много лет до 1700 г., так что к тому времени склонение могло претерпеть весьма значительные изменения. Из этого следует, что эта картина склонений, нанесенная на карту, изображающую всю Землю, может рассматриваться лишь как очень неточная, и, помимо всего прочего, зачем нам сейчас знать состояние магнитного склонения на 1700 г., если оно с тех пор сильно изменилось?

Другие английские географы впоследствии составили подобную карту, где все склонения представлены такими, какими они были в 1744 г. Эта карта имеет все те же недостатки, что и карта Галлея, и составители ее по-прежнему не располагали данными относительно многих районов Земли; к тому же они, не дрогнув духом, заполнили эти пустые места данными, взятыми с карты Галлея, безусловно недействительными для 1744 г. Из этого В. В. сможет судить до какой степени несовершенны наши знания в этом важном разделе физики.

13 октября 1761 г.

Письмо 172

*О карте склонений и о том,
каким образом она могла бы служить
для отыскания долгот*

Будет уместно объяснить, каким методом воспользовался Галлей, представив магнитные склонения на карте, которую он составил для 1700 г., чтобы, если В. В. увидит такую карту, был понятен способ ее построения.

Во-первых, он нанес на карту склонение магнитной стрелки в каждой местности — такое, какое там наблюдалось; среди всех пунктов он выделил те, где вовсе не было склонения, и увидел, что все они попадают на некую линию, которую он назвал линией нулевого склонения, поскольку повсюду вдоль этой линии склонение в то время было равно нулю.¹ Эта линия не была ни меридианом, ни параллелью; она, изгибаясь, пересекала Северную Америку и выходила за ее пределы у побережья Каролины.² Оттуда она заворачивала, чтобы пересечь Атлантический океан между Африкой и Америкой. Кроме этой линии, Галлей обнаружил еще одну такую же, где склонение исчезало подобным же образом; эта линия начиналась посреди Китая и шла через Филиппинские острова и Новую Голландию.³ Судя по тому, как идут эти линии, можно предположить, что они смыкаются у обоих полюсов Земли.

Проведя эти две линии, вдоль которых склонение отсутствует, г-н Галлей увидел, что в пространстве между ними, если идти с запада на восток, т. е. через всю Европу, Африку и почти всю Азию, склонение было западное; по другую же сторону от этих линий, т. е. во всей Южной Америке и во всем Тихом океане, склонение было восточным. Установив положение этих двух основных линий, Галлей рассмотрел затем все пункты, где западное склонение было равно 5° , в результате чего он убедился, что через все эти пункты тоже очень легко провести линию, которую он назвал «линией пятиградусного западного склонения». Он нашел две такие линии, из которых одна, если можно так выразиться, сопровождает первую из линий нулевого склонения, а вторая — вторую. То же самое он проделал с пунктами, где склонение было равно 10° , затем с теми, где оно составляло 15° , 20° и т. д., и увидел, что линии, соответствующие большим склонениям, проходят только по полярным областям, в то время как линии малых склонений пересекают всю Землю и проходят через экватор. В самом деле, у экватора самое большое склонение, как западное, так и восточное, едва превышает 15° , но по мере приближения к полюсам можно добраться до мест, где склонение превосходит 50° и 60° ; несомненно, найдутся и такие пункты, где оно еще больше и даже превосходит 90° ; следовательно, там северный конец стрелки повернется на юг.

Наконец, после того как Галлей провел подобные же линии через пункты, где склонение было восточным и составляло 5° , 10° , 15° и т. д., он покрыл всю карту, изображавшую поверхность Земли, такими линиями, вдоль которых склонение всюду одинаково (там, где хватало наблюдений). Г-н Галлей был достаточно добросовестен, чтобы не проводить линии по тем областям, относительно которых у него не было данных; по этой же причине большая часть его карты свободна от этих линий. Но если бы такая карта была точной и полной, довольно было бы бросить на нее взгляд, чтобы увидеть, каким было склонение в каждой местности в то время, для которого составлялась карта, так как даже если бы данный пункт не находился точно на одной из проведенных на карте линий — все равно, ус-

тановив, между какими линиями он находится, можно было бы не колеблясь приписать ему некоторое промежуточное значение величины склонения. Так, если бы я оказался между линиями, соответствующими 10° и 15° западного склонения, я не сомневался бы в том, что склонение там превышает 10° , но меньше 15° , и в зависимости от того, какая из линий проходит ближе, я без труда нашел бы некое разумное среднее значение, которое указало бы мне величину склонения.

В. В. легко поймет из этого, что если бы существовала такая точная карта, то, руководствуясь ею, можно было бы находить долготы, во всяком случае в тот период времени, для которого эта карта справедлива. Чтобы пояснить суть этого метода, предположим, что у нас есть карта, составленная для нынешнего года, и на ней мы видим прежде всего две линии, проведенные через местности, где склонение отсутствует, затем — линии, проведенные через местности, где оно равно 5° , 10° , 15° , 20° западного и восточного склонения; предположим даже, что для пущей точности эти линии проведены через каждый градус. Я нахожусь где-то в море или в неизвестной стране; первым делом я провожу полуденную линию, чтобы узнать, насколько отклоняется от нее мой компас, и обнаруживаю, к примеру, что склонение — восточное и равно в точности 10° . Тогда я беру свою карту, нахожу на ней две линии, вдоль которых склонение — восточное и равно 10° ; я могу быть уверен, что нахожусь на той или на другой из этих линий. Это уже немало. Затем я найду из наблюдений высоту полюса; поскольку она равна широте местности, где я пребываю, мне останется только найти на двух вышеупомянутых линиях пункты, где широта равна той, какую я получил из наблюдений. Теперь вся неопределенность сводится к выбору одного из двух пунктов, очень удаленных друг от друга. Однако обстоятельства моего путешествия позволят с легкостью решить, который из этих двух пунктов — тот, в котором я нахожусь в настоящее время.

В. В. согласится, должно быть, что этот метод — едва ли не самый удобный из всех, о которых я имел честь сообщить, — при условии что у нас есть такие карты, как я только что предположил. Но это — как раз то, чего нам недостает; и если мы еще очень далеки от возможности построить такую карту для прошлых лет, ибо не имеем достаточного количества наблюдений (притом, что сегодня эта карта была бы бесполезной), еще меньше знаем мы обо всех изменениях склонения, происходящих в каждой местности с течением времени. Наблюдения, имеющиеся на сегодняшний день, показывают, что в некоторых местностях склонение подвержено весьма значительным переменам, в то время как в других оно остается почти неизменным в том же промежутке времени; это лишает нас всякой надежды извлечь когда-либо пользу из этого метода, каким бы превосходным он ни был сам по себе.

Письмо 173

*Почему магнитные стрелки в каждом месте Земли
показывают определенное направление;
почему это направление в разных местах — различно
и по какой причине оно меняется со временем
в одном и том же месте*

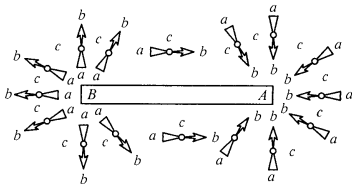
В. В., конечно, будет любопытно узнать, почему магнитные стрелки в каждой местности избирают одно, определенное направление, почему эти направления в разных местностях различаются и почему в одной и той же местности это направление изменяется со временем. Я буду иметь честь сообщить все, что мне об этом известно, хотя, вероятно, отнюдь не сумею удовлетворить любопытство В. В.

Замечу, во-первых, что эти свойства магнитных стрелок присущи всем магнитам, и только форма стрелок, позволяющая им балансировать на острие и свободно поворачиваться, делает эти свойства более заметными. Любой магнит, если его подвесить на нитке, всегда поворачивается в определенную сторону, так же как в том случае, если его помещают в маленькую лодочку, плавающую по воде: лодочка с магнитом всегда стремится развернуться в определенном направлении. Так же, как у стрелок, у которых есть два конца, из коих один направлен примерно к северу, а другой — к югу, то же наблюдается и у любого магнита, имеющего подобным же образом две такие точки; из них одна тяготеет к северу, а другая — к югу, примерно с теми же отклонениями, что и у магнитной стрелки. Эти точки легко найти у каждого магнита, потому что именно к ним железо притягивается с наибольшей силой. Их именуют полюсами магнита, позаимствовав это название у полюсов Земли и неба, потому что один из полюсов магнита стремится повернуться к северному, а другой — к южному, или полуденному, полюсу Земли. Это следует понимать не совсем буквально; однако в те времена, когда вводились эти термины, о магнитном склонении еще не знали. Один из двух полюсов магнита, тот, что направлен к северу, называют северным, а тот, что направлен к югу, — южным, или полуденным, полюсом магнита.

Я уже отмечал, что магнитная стрелка, так же как и любой магнит, принимает это положение, которое представляется ее естественным положением, только если поблизости нет никакого другого магнита или железа. Если магнитная стрелка находится поблизости от магнита, она принимает положение, сообразуясь с полюсами этого магнита: северный полюс магнита притягивает южный конец стрелки и, наоборот, южный полюс магнита притягивает северный конец стрелки. Поэтому когда два магнита воздействуют друг на друга, то дружественными полюсами называют разноименные, а враждебными — од-

поименные. Это свойство очень заметно, когда сближают два магнита, ибо тогда видят не только, что разноименные полюса — северный полюс одного магнита и южный другого — взаимно притягиваются, но и что одноименные полюса избегают и отталкивают друг друга. Это видно еще более отчетливо, когда сближают две магнитные стрелки.

Для наших целей было бы очень важно подробно рассмотреть положения, которые принимает магнитная стрелка вблизи магнита.



На прилагаемом рисунке брусок AB представляет магнит, северный полюс которого находится в B , а южный — в A ; В. В. имеет возможность увидеть множество положений намагниченной иглы, которую я изобразил в виде стрелки, один конец которой, помеченный b , — это северный полюс, а другой, помеченный a , — южный. Во всех этих положениях конец b стрелки поворачивается к полюсу A магнита, а конец a — к полюсу B . В точке c находится шпенец, на котором поворачивается игла, и В. В. достаточно рассмотреть этот чертеж внимательно, чтобы понять, какое направление укажет стрелка в каждой точке в окрестностях магнита, где бы мы ни установили шпенец c .

Следовательно, если бы где-нибудь был установлен очень большой магнит AB , магнитные стрелки, расположенные вокруг него, приняли бы в каждой точке определенное положение, как это мы и видим в действительности на поверхности Земли. Т. е., если бы сама Земля была таким магнитом, было бы понятно, почему магнитные стрелки указывают всегда какое-нибудь определенное направление. Поэтому физики, чтобы объяснить это явление, предполагают, что вся Земля обладает свойствами магнита,¹ т. е. что мы должны рассматривать ее как очень большой магнит. Некоторые из них утверждают, что в центре Земли лежит огромный магнит,² оказывающий влияние на все магнитные стрелки и на все магниты, находящиеся на поверхности Земли, и что это именно та сила, которая стремится развернуть магниты в каждой местности в определенном направлении, как мы и наблюдаем.

Но у нас нет необходимости предполагать существование такого магнита, упрятого в глубинах Земли: сама ее поверхность настолько изобилует месторождениями железа и магнитов, что их объединенное действие может отлично возместить отсутствие этого гипотетического огромного магнита.

В самом деле, все магниты добываются в рудниках — верное доказательство того, что эти руды в большом изобилии встречаются в недрах Земли и что их объединенное действие порождает общую силу, которая производит все магнитные явления. Этим мы можем объяснить, почему в одном и том же месте магнитное склонение изменяется с течением времени — так как известно, что месторождения металлов, особенно железных руд, к которым следует отнести и магниты, подвержены непрерывным изменениям; в том или ином месте то появляется железо, то исчезает, так что сегодня жилы железа проходят там, где их раньше не было, а там, где раньше находили такие жилы в изобилии, теперь не находят почти ничего. Это убедительно доказывает, что совокупность всех магнитов, заключенных в Земле, подвержена весьма значительным переменам, и потому полюса, по которым устанавливается магнитное склонение, тоже должны претерпевать изменения со временем.

Именно здесь следует искать причину того, что магнитные склонения подвергаются столь значительным изменениям в одном и том же месте на Земле. Но этот же вывод — что причина кроется в непостоянстве явлений, происходящих в земных недрах, — не оставляет нам никакой надежды научиться когда-нибудь предсказывать величину магнитного склонения — если только не найдут способа привести изменения, происходящие в Земле, к какому-нибудь определенному закону. Возможно, длинный ряд наблюдений в продолжение многих веков мог бы внести ясность в этот вопрос.

20 октября 1761 г.

Письмо 174

Дальнейшие объяснения причины и изменения склонения магнитных стрелок

Те, кто утверждает, что Земля заключает в своем лоне огромный магнит, вроде ядра, вынуждены предполагать, дабы объяснить явление магнитного склонения, что это ядро постепенно изменяет свое положение. В таком случае следовало бы предположить, что все части этого ядра не связаны с Землей, и так как его движение, несомненно, должно подчиняться какому-то закону, мы могли бы надеяться когда-нибудь открыть этот закон, в соответствии с которым склонение изменяется во времени. Но независимо от того, есть ли у Земли такое магнитное ядро, или же магниты, рассеянные по ее недрам, объединяют свои силы, чтобы произвести магнитные явления, — в любом случае можно рассматривать саму Землю как магнит, сообразуясь с которым принимают определенное направление каждый отдельный магнит и каждая магнитная стрелка.

Некоторые физики помещали внутрь шара очень сильный магнит, установив на поверхности этого шара магнитную стрелку, и, придавая магниту внутри шара различные положения, они наблюдали явления, сходные с теми, что

имеют место на поверхности Земли. Если же рассматривать Землю как магнит, у нее будут магнитные полюса, которые следует четко отличать от ее естественных полюсов, вокруг которых она вертится. Эти полюса не имеют между собой ничего общего, кроме названия, но именно от положения магнитных полюсов относительно полюсов естественных зависят кажущиеся неправильности в распределении магнитных склонений и, в частности, неправильная форма тех линий на карте, о которых я имел честь сообщить В. В.

Чтобы лучше разъяснить этот вопрос, отмечу, что, если бы магнитные полюса в точности совпадали с полюсами естественными, магнитного склонения на Земле не было бы. Повсюду магнитные стрелки располагались бы с севера на юг, и их направление в точности совпадало бы с полуденной линией. Это было бы очень удобно для мореплавания, потому что в этом случае мы могли бы сразу находить истинный курс корабля и направление ветра, в то время как ныне необходимо сначала найти величину склонения компаса, прежде чем определить истинное направление на страны света. Но тогда компас не мог бы оказать никакой помощи в определении долгот; между тем вполне вероятно, что магнитное склонение когда-нибудь послужит этой цели.

Из этого можно заключить, что, если бы магнитные полюса Земли сильно отклонялись от ее естественных полюсов и лежали точно один напротив другого (что имело бы место, если бы магнитная ось Земли — прямая линия, проведенная через два магнитных полюса, — проходила через центр Земли), тогда магнитные стрелки указывали бы отовсюду на эти магнитные полюса и было бы нетрудно определить *магнитное направление* для любой местности. Достаточно было бы провести через любой пункт окружность, которая проходила бы также через оба магнитных полюса; угол, составленный этой окружностью с меридианом пункта, давал бы нам магнитное склонение.

В этом случае две линии, вдоль которых склонение равно нулю, были бы меридианами, проведенными через магнитные полюса. Следовательно, поскольку мы видели, что на самом деле эти две линии, вдоль которых склонение отсутствует, не являются меридианами, но ход их весьма причудлив, ясно, что на Земле все обстоит иначе.

Галлей хорошо видел это следствие и потому счел себя обязанным предположить существование двух магнитов внутри Земли, из коих один неподвижен, а другой подвижен. Соответственно этому он постулировал наличие четырех полюсов, из которых два располагаются близ северного полюса, а два других — неподалеку от южного, на неравных расстояниях. Однако это заключение представляется мне несколько рискованным: из того, что линии нулевого склонения не являются меридианами, не следует, что на Земле имеется четыре магнитных полюса; скорее, что их всего два и что эти два полюса не лежат точно один напротив другого или, иначе, что магнитная ось не проходит через центр Земли.

Остается поэтому еще рассмотреть случай, когда два магнитных полюса лежат не точно напротив друг друга, а магнитная ось не проходит через центр

Земли. В самом деле, если принять гипотезу о магнитном ядре внутри Земли — почему так уж необходимо, чтобы один магнитный полюс лежал в точности напротив другого? Вполне могло бы быть и так, что это ядро находится не в центре Земли, но на каком-то расстоянии от центра. Если же магнитные полюса не лежат диаметрально противоположно один другому, то линии, вдоль которых склонение отсутствует, пойдут примерно так, как это было выведено из наблюдений. Более того, можно приписать двум магнитным полюсам такое положение на поверхности Земли, что не только эти две линии будут в согласии с наблюдениями, но и другие, соответствующие любым величинам склонения, как западного, так и восточного, будут в точности подобны тем линиям, которые поначалу казались нам столь странными.

Таким образом, чтобы получить полную картину магнитного склонения, достаточно установить положение двух магнитных полюсов, и тогда это становится чисто геометрической задачей — определить ход линий, о которых я говорил в своем предыдущем письме, проведенных через все пункты с одинаковым магнитным склонением. Кроме того, таким способом можно было бы уточнить положение этих линий и провести их через местности, относительно которых данные отсутствуют. А если бы можно было рассчитать местонахождение обоих магнитных полюсов для всех будущих времен, это было бы безусловно наилучшим решением проблемы долгот.

Итак, для того чтобы объяснить явления, связанные с магнитными склонениями, нет никакой необходимости в двойном магните внутри Земли и в четырех магнитных полюсах великого Галлея. Одного магнита и двух полюсов вполне достаточно, если только для каждого из них найдут его истинное местоположение. Мне представляется, что путем этих рассуждений мы продвинулись значительно дальше в нашем понимании магнетизма.

24 октября 1761 г.

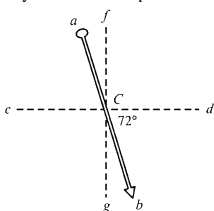
Письмо 175

О наклонении магнитных стрелок

Пусть В. В. соблаговолит вспомнить, что, если мы прикоснемся стрелкой к магниту или потрем ее о магнит, она от этого не только приобретет свойство поворачиваться к определенной точке горизонта, но, кроме того, ее северный конец опускается, как если бы он стал тяжелее; это заставляет нас несколько облегчать северный конец или добавлять сколько-нибудь к противоположному концу, чтобы вернуть стрелке равновесие. Не прибегая к этому приему, я проделал множество опытов, чтобы посмотреть, до какого предела магнитная сила заставит опуститься северный конец намагниченной стрелки; я нашел, что он опускается, пока не составит с горизонтом угол 72 градуса, и в этом положении стрелка остается в покое. Следует отметить, что я проводил эти

опыты в Берлине, около шести лет назад; далее я покажу, что это направление стрелки «под горизонт» столь же изменчиво, как и магнитное склонение.

Таким образом, мы видим, что магнитная сила оказывает двойное действие на стрелку; об одном из них — о том, которое поворачивает стрелку к определенной точке горизонта, удаление коей от полуденной линии и называют магнитным склонением, — я уже говорил весьма пространно. Другой эффект принуждает стрелку наклониться к горизонту;¹ при этом тот или иной ее конец опускается под горизонт на определенный угол.



Пусть cd будет горизонтальной линией, проведенной параллельно магнитному склонению; здесь, в Берлине, стрелка займет положение ba , составляющее с горизонтом cd , угол dCb или cCa , равный 72° и соответственно с вертикалью fg — угол bCg или aCf , равный 18° . Этот второй эффект магнитных сил, благодаря которому намагниченные стрелки получают некоторый наклон к горизонту, не менее примечателен, чем первый. Подобно тому как первый из этих эффектов назван магнитным склонением, так второй эффект известен под названием магнитного наклона. Это последнее заслуживает в той

же мере, что и магнитное склонение, чтобы его изучали всюду со всем возможным тщанием, поскольку оно обнаруживает столь же большую изменчивость.

В Берлине наклонение было найдено равным 72° , в Базеле оно оказалось равным всего лишь 70° ; северный конец стрелки там был опущен, а южный соответственно поднят именно на такой угол. Так ведет себя стрелка в наших краях, расположенных ближе к северному магнитному полюсу, и чем ближе мы будем к этому полюсу, тем большим станет наклонение стрелки, т. е. приблизится к вертикали, так что, если бы мы могли прийти на самый полюс, стрелка там приняла бы совершенно вертикальное положение,² причем ее северный конец был бы обращен вниз, а южный — вверх. Напротив, чем более мы будем удаляться от северного магнитного полюса Земли, приближаясь к южному, тем меньшим будет становиться наклонение; в конце концов оно исчезнет, и стрелка примет горизонтальное положение, когда мы будем находиться на равном расстоянии от обоих полюсов. Затем по мере дальнейшего приближения к южному магнитному полюсу Земли, все более и более наклоняться под горизонт станет южный конец стрелки, а северный будет подниматься, пока на самом магнитном полюсе стрелка вновь не встанет вертикально, повернув свой южный конец вниз, а северный — вверх.

Было бы весьма желательно провести повсюду опыты по определению магнитного наклона, столь же тщательные, какие проводятся по определению склонения; но до сих пор этой важной проблемой экспериментальной физики слишком пренебрегали, хотя она не менее любопытна и не менее важна, чем

проблема склонения. Этому не следует удивляться: опыты этого рода связаны со многими трудностями, и почти все из придуманных до сих пор способов определять магнитное наклонение не принесли успеха. Единственный, кто здесь преуспел, — это мастер из Базеля по фамилии Дитерих,³ построивший прибор, предназначенный для этих целей, по чертежам г-на Даниэля Бернулли.⁴ Он прислал мне два таких прибора, при помощи которых я и наблюдал здесь наклонение в 72° ; сколь ни заинтересованы англичане и французы в такого рода исследованиях, они не обратили особого внимания на прибор г-на Дитериха, хотя он — единственный, пригодный для этих целей. Это — яркий пример, показывающий нам, как предрассудки могут задерживать развитие наук. Поэтому можно утверждать, что Базель и Берлин до сих пор остаются единственными пунктами на Земле, для которых известно магнитное наклонение. Стрелки, изготовленные для компасов, не совсем годятся для того, чтобы показывать нам величину магнитного склонения, хотя грубый эффект они обнаруживают — то, что в наших краях северный конец стрелки тяжелеет. Назначение этих стрелок — указывать нам магнитное склонение, и, чтобы воспользоваться ими по назначению, мы должны в первую очередь нейтрализовать эффект наклонения, сделав либо северный конец более легким, либо южный — более тяжелым. Чтобы привести стрелку в горизонтальное положение, прибегают обычно к последнему из этих двух способов и прикрепляют кусочек воска к южному концу стрелки. Однако В. В. без труда поймет, что это средство пригодно только в наших краях, при определенной величине силы, наклоняющей стрелку, а если мы с такой стрелкой направимся к северному магнитному полюсу Земли, наклоняющая сила при этом возрастет, и чтобы воспрепятствовать ее действию, придется добавлять еще воска на южный конец. Если же мы отправимся на юг, то приблизимся к другому полюсу Земли; сила, наклоняющая северный конец иглы, станет меньше, и нужно будет уменьшить количество воска на другом конце, а затем и вовсе убрать воск, потому что он становится ненужным, если мы добрались до мест, где магнитное склонение исчезает. Когда же мы пересечем этот рубеж и окажемся еще ближе к южному полюсу, южный конец стрелки опустится книзу и, чтобы предупредить этот эффект, нужно будет прикрепить кусочек воска к северному концу стрелки. Именно этим приемом с большим успехом пользуются в дальних путешествиях, чтобы держать стрелку компаса в горизонтальном положении.

Для того чтобы наблюдать магнитное наклонение, необходимо иметь специальные приборы, подобные тем, что построил искусник из Базеля. Этот прибор называют измерителем наклонения,⁵ однако, по всей видимости, он не скоро войдет в употребление.* Еще менее мы можем надеяться на то, что в

* После того как это было написано, г-да Малле и Пикте из Женевы, которых по случаю последнего прохождения Венеры по солнечному диску пригласили в Лапландию наблюдать там это прохождение, воспользовались таким измерителем наклонения и нашли, что в мае 1769 г. магнитное наклонение в Санкт-Петербурге было равно $73^\circ 40'$, в Лапландии, в Коле $6^\circ 77' 45'$, в Умбе $7^\circ 75' 10'$ и в Поное $8^\circ 76' 30'$.

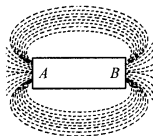
ближайшее время будут составлены карты магнитного наклонения, подобные тем, на которых было представлено склонение. Можно было бы воспользоваться тем же методом и провести линии через все местности, где магнитное наклонение окажется одинаковым, так что мы получим линии, где нет наклонения, а также другие, где наклонение равно 5° , 10° , 15° , 20° и т. д. как к северу, так и к югу.

27 октября 1761 г.

Письмо 176

Об истинном магнитном направлении и о тонкой материи, порождающей магнитную силу

Чтобы составить себе верное представление о действии магнитных сил Земли, нужно учитывать как склонение, так и наклонение магнитных стрелок в каждой местности на Земле. Мы знаем, что в Берлине склонение — западное и равно 15° и что наклонение северного конца стрелки равно 72° . Приняв во внимание этот двойной эффект, склонение и наклонение, получаем истинное *магнитное направление*; так, чтобы узнать его для Берлина, нужно провести сначала на горизонтальной плоскости прямую линию, которая отклонялась бы на 15° к западу от меридиана, и от нее, спускаясь к линии вертикали, следует начертить еще одну, которая составляла бы с вертикалью угол 72° ; эта линия укажет нам магнитное направление для Берлина, из чего В. В. поймет, каким образом полагалось бы находить для любой другой местности магнитное направление — если бы нам было известно как тамошнее склонение, так и наклонение.



Любой магнит демонстрирует нам одни и те же явления. Достаточно положить его на стол, покрытый железными опилками, и мы увидим, что опилки расположатся вокруг магнита *BA* примерно так, как это изображено на рисунке, где каждая пылинка железа может рассматриваться как маленькая магнитная стрелка, дающая нам увидеть магнитное направление в любой точке в окрестностях магнита. Этот опыт побуждает нас искать первопричину всех магнитных явлений.

Порядок, который мы наблюдаем в расположении железных опилок, не оставляет у нас сомнений в том, что некая тончайшая и невидимая субстанция входит внутрь железных пылинок и располагает их в том направлении, которое мы наблюдаем. Кроме того, столь же очевидно, что эта же тончайшая субстанция движется и через самый магнит, входя через один из его полюсов и выходя через другой, так что в своем непрерывном движении вокруг магнита она образует вихрь, который переносит тончайшую субстанцию от одного полюса к другому. Нет никакого сомнения, что это движение — чрезвычайно быстрое.

Итак, сущность магнита — в постоянном вихре, что отличает магниты от всех других тел; и сама Земля, поскольку она — магнит, должна быть окружена таким вихрем, который всюду воздействует на магнитные стрелки и стремится расположить их в том же направлении, в котором он движется сам, т. е. в том, которое я выше называл магнитным направлением. Следовательно, эта тончайшая субстанция выходит постоянно через один из магнитных полюсов Земли, огибает ее, совершая путь до самого другого полюса, возвращается в Землю и пересекает всю ее толщу, чтобы снова выйти через первый полюс.

Однако в настоящее время невозможно решить, через который из земных магнитных полюсов эта субстанция входит, а через который выходит, поскольку явления, зависящие от входа и выхода магнитной субстанции, столь сходны, что их невозможно различить. Несомненно также, что этот всеобщий земной вихрь поставляет тончайшую субстанцию всем магнитам, намагниченному железу и стали и поддерживает малые собственные вихри, которые их окружают.

Чтобы разобраться в природе этой тончайшей субстанции и ее движения, нужно прежде всего отметить, что она воздействует только на магниты, железо и сталь; все остальные тела ей совершенно безразличны.¹ Следовательно, нужно, чтобы ее отношение к железу и к магнитам было совсем иным, чем ко всем другим телам. Многочисленные опыты заставляют нас утверждать, что эта тончайшая субстанция проникает через все другие тела беспрепятственно. Более того, проходит в любых направлениях, ибо, когда магнит воздействует на стрелку, его влияние совершенно одинаково, располагают ли между ними какой-либо предмет или нет, если только этот предмет не железный; то же произойдет, если вместо магнитной стрелки взять железные опилки. Следовательно, необходимо, чтобы эта тончайшая субстанция проникала сквозь все тела, кроме железа, столь же свободно, как сквозь воздух и даже сквозь чистый эфир, потому что опыты получаются с таким же успехом в пространстве, из которого воздух удален пневматическим насосом. Следовательно, эта тончайшая субстанция отлична от эфира и еще намного его тоньше. Поскольку существует вихрь, общий для всей Земли, можно сказать, что эта субстанция окружает всю Землю и свободно проникает через всю ее толщу, так же как через все другие тела, за исключением железа и магнитов; по этой причине можно назвать железо и сталь магнитными телами, чтобы отличить их от всех остальных тел.

Но если магнитная субстанция свободно проходит через все немагнитные тела, то в какие отношения вступает она с телами магнитными? Мы видели выше, что магнитный вихрь входит в каждый магнит через один из полюсов и выходит через другой, из чего можно заключить, что через магниты он проходит столь же свободно; в этом они не отличаются от всех прочих тел. Однако от всех остальных тел магнитные тела отличает та особенность, что магнитная субстанция движется в них только от полюса к полюсу; в этом их отличительный признак. Немагнитные тела проницаемы для магнитной субстанции в любых направлениях; что же касается магнитов, то они проницаемы только

в одном направлении, причем один из полюсов предназначен только для входа, а другой — только для выхода. Что до железа и стали, то, если они намагничены, магнитная субстанция тоже проходит через них только в одном направлении — соответственно тому, как расположены магнитные полюса. Но пока эти тела еще не намагничены, можно сказать, что они не позволяют магнитной субстанции свободно двигаться ни в каком направлении.

Это может показаться странным, потому что поры у железа открытые, они пропускают даже эфир, притом что он грубее магнитной субстанции. Однако следует различать движение обычное — и такое, когда магнитная субстанция несется сквозь предмет со всею стремительностью, не встречая никаких препятствий.

31 октября 1761 г.

Письмо 177

Продолжение о природе этой магнитной материи и о ее стремительном потоке. О магнитных каналах

Я далек от того, чтобы претендовать на полное объяснение явлений магнетизма; здесь встречаются трудности, каких я не встретил в области электрических явлений. Причина этого несомненно в том, что электрические явления происходят от слишком большого или слишком малого сжатия тончайшей текучей субстанции, заполняющей поры предметов; субстанция же эта, которая есть не что иное, как эфир, не находилась в реальном движении; магнетизм же не может быть объяснен без предположения о вихре, постоянно несущемся сквозь магнитные тела.

Субстанция, образующая эти вихри, значительно тоньше и нежнее эфира и свободно проникает сквозь такие поры магнитов, которые непроницаемы даже для эфира. Эта магнитная субстанция смешана с эфиром точно так же, как сам эфир смешан с воздухом, и, подобно тому как эфир заполняет поры воздуха, можно сказать, что магнитная субстанция заключена в порах самого эфира.

Теперь представим себе, что магнит и железо имеют поры столь мелкие, что эфир может туда входить лишь частично, и только магнитная субстанция может туда проникать, и что, входя, она отделяется от эфира; происходит, если можно так выразиться, фильтрация. Поэтому только в порах магнита магнитная субстанция находится в чистом виде; во всех других случаях она смешана с эфиром и растворена среди эфира подобно тому, как сам эфир растворен в воздухе.

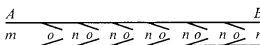
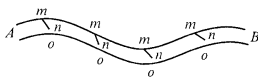
В. В. может легко представить себе множество подобных текучих субстанций, из которых одна всегда тоньше и нежнее другой и которые идеально

перемешаны одна в другой. Природа являет нам совершенно недвусмысленные примеры этого. Мы знаем, что вода заключает в своих порах частицы воздуха; мы часто наблюдаем, как они поднимаются из воды в виде маленьких пузырьков. Поэтому нет никакого сомнения, что воздух содержит в своих порах текучую субстанцию несравненно более тонкую, а именно эфир, и этот последний выделяется из воздуха во многих случаях, как мы это видели при электрических явлениях. Теперь мы видим, что эта прогрессия распространяется далее и что эфир содержит в себе субстанцию еще более тонкую, а именно магнитную; быть может, эта последняя содержит в себе еще какие-нибудь, более тонкие. Во всяком случае, это не невозможно.

После того как мы доказали существование магнитной субстанции, посмотрим, каким образом производит она магнитные явления. Для этого я подвергну рассмотрению магнит и скажу первым делом, что кроме очень большого количества пор, заполненных эфиром, как и у всех иных тел, магнит имеет еще поры, значительно более узкие, куда может входить только магнитная субстанция. Скажу, во-вторых, что эти поры устроены так, чтобы между ними имелось сообщение, и образуют трубочки или каналцы, по которым магнитная субстанция может передвигаться из конца в конец. В-третьих, что магнитная субстанция может двигаться по этим трубочкам только в одном направлении, не имея возможности повернуть обратно. Это обстоятельство очень существенно, и необходимо разъяснить его как можно более четко.

Для начала замечу, что вены и лимфатические сосуды в теле животных имеют подобное же устройство.¹ В венах имеются определенного рода клапаны, изображенные на прилагаемом рисунке черточками *mn*; их функция заключается в том, что, когда кровь течет из *A* в *B*, эти клапаны приподнимаются и дают ей свободный проход; в то же время они не допускают движения крови от *B* к *A*; если бы кровь вознамерилась потечь от *B* к *A*, она прижала бы свободный конец *n* клапана к стенке *o* вены, и клапан полностью закрыл бы просвет сосуда. Подобными клапанами пользуются в водопроводах, чтобы не давать воде течь обратно. Поэтому, надо думать, я не предполагаю нечто противное природе, говоря, что каналцы в магнитах, не пропускающие ничего, кроме магнитной субстанции, имеют подобное же строение.

Прилагаемый рисунок изображает такой магнитный каналец, каким я его себе представляю. Я предполагаю, что изнутри он мохнатый, причем ворс направлен от *A* к *B* и ничуть не препятствует магнитной субстанции, когда она движется от *A* к *B*, потому что в этом случае ворсинки расходятся к *n*, чтобы пропустить субстанцию в *o*; но эти же самые ворсинки сразу же закрывают проход, если магнитная субстанция вздумает двинуться вспять от *B* к *A*. Вот в чем заключается сущность магнитных каналцев: они позволяют магнитной



субстанции входить только со стороны A и беспрепятственно течь в B ; но двигаться по ним в противоположном направлении от B к A ей нельзя.

Такое устройство помогает нам объяснить, как магнитная субстанция входит в эти трубочки и как движется по ним с огромной скоростью даже тогда, когда весь эфир пребывает в совершенном покое, что особенно удивительно, ибо чем же может быть вызвано это столь стремительное движение? Все станет очень ясным, если В. В. сообразовалит вспомнить, что эфир — субстанция чрезвычайно упругая. Следовательно, магнитная субстанция, рассеянная среди эфира, должна быть им сдавлена со всех сторон. Коль скоро это так, пусть магнитный канал AB будет для начала совершенно пустым, а у входа A пусть находится молекула m магнитной субстанции; поскольку эфир давит на эту молекулу со всех сторон, за исключением той, где находится вход в канал (ибо войти в канал эфир не может), он будет с огромной силой толкать ее в сторону канала; поэтому она тут же войдет в него с огромной скоростью. Сразу же у входа в канал появится другая молекула магнитной субстанции; эфир ею изобилует. И эту молекулу эфир втолкнет в канал с тою же силой. То же произойдет и со следующими молекулами, так что из них составится сплошной поток магнитной субстанции по каналу. Поскольку этот поток не встречает в трубочке никаких препятствий, магнитная субстанция выйдет через B с такой же скоростью, с какой она вошла в A .

Итак, я предполагаю, что всякий магнит имеет огромное множество таких канальцев, которые я называю магнитными, и из этого вполне естественным образом следует, что магнитная материя, рассеянная в эфире, должна входить в них с одного конца и выходить из другого с превеликой стремительностью; иными словами, мы имеем постоянный поток магнитной субстанции по канальцам магнита. Я надеюсь, что таким путем мне удалось преодолеть самые большие трудности, имеющиеся в теории магнетизма.

3 ноября 1761 г.

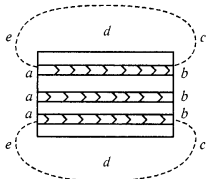
Письмо 178

О магнитном вихре и о действии магнитов друг на друга

Теперь В. В. знает, в чем заключается отличительный признак магнитов: магнит наделен множеством канальцев, таких, какие я описал выше.

На прилагаемом рисунке изображен магнит AB с тремя магнитными канальцами ab , по которым магнитная субстанция должна течь с огромной скоростью, входя в магнит через отверстия a и выходя через отверстия b . Она будет выходить из магнита с тою же самой скоростью, но, натолкнувшись на эфир, перемешанный с воздухом, сразу же встретит в нем весьма значительное противодействие, которое будет препятствовать ее движению в прежнем на-

правлении. Поэтому она не только замедлит движение, но и повернет в стороны s и s . То же самое будет происходить при входе, у отверстий aaa , где из-за скорости, с которой молекулы магнитной субстанции входят в эти отверстия, очередь скоро дойдет до тех, что сейчас еще находятся ближе к e и e . Они будут в свой черед замещены теми, которые, выйдя из отверстий bbb , свернули к ss , так что вскорости магнитная субстанция, вышедшая из отверстий bbb , вернется к отверстиям aaa , сделав круг $bcdea$. Это движение, совершающееся вокруг магнита, мы и называем *магнитным вихрем*.

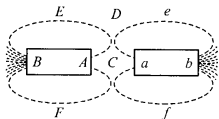


Однако не нужно думать, что в этих магнитных вихрях циркулирует все время одна и та же магнитная субстанция; добрая часть ее, несомненно, потеряется как в стороне B , так и по бокам во время кругового движения; взамен утраченной в отверстия aaa войдет другая порция магнитной субстанции, так что субстанция, образующая вихрь, возместит свои потери; она все время заменяется. Однако магнитный вихрь, которым окружен магнит, будет сохраняться все время; он и производит наблюдавшиеся выше явления с железными опилками, брошенными вокруг магнита.

Пусть В. В. обратит внимание на то обстоятельство, что движение магнитной субстанции в вихре вне магнита несравненно медленнее, чем в магнитных трубочках, где она отделяется от эфира и подталкивается всею силой упругости эфира; едва выйдя из канальца, она снова смешивается с эфиром и должна от этого потерять большую часть своего движения. Поэтому скорость, с которой она обегает вокруг магнита, чтобы вернуться в отверстия aaa , несравненно меньше, чем в магнитных канальцах ab , хотя и остается все еще очень большой по нашим меркам. Теперь В. В. с легкостью поймет, что оконечности магнитных канальцев, через которые субстанция входит в магнит и выходит из него, — это то, что мы называем полюсами магнита. По этому поводу я должен заметить, что магнитные полюса магнита — отнюдь не математические точки, ибо магнитным полюсом является вся площадь, где начинаются или оканчиваются магнитные канальцы, как у магнита, изображенного в начале письма, у которого вся грань A и вся грань B являются полюсами.

Хотя различают полюса северный и южный, невозможно сказать, через который из них магнитная субстанция входит в магнит — через северный или через южный. В. В. увидит в дальнейшем, что любые явления, порожденные проникновением магнитной субстанции, до такой степени сходны с явлениями, порожденными ее выходом, что представляется совершенно невозможным решить этот вопрос опытным путем. Поэтому совершенно безразлично, как предположить — что магнитная материя входит через северный полюс и выходит через южный, или, наоборот, что она входит через южный и выходит через северный; это несущественно.

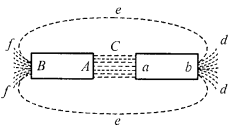
Но как бы там ни было, я помечу литерой *A* полюс, через который магнитная субстанция входит, и литерой *B* — другой полюс, через который она выходит, не заботясь о том, который из них северный, а который — южный. Теперь нам нужно только рассмотреть магнитные вихри, чтобы понять, как два магнита взаимодействуют друг на друга.



Предположим, что два магнита *AB* и *ab* обращены друг к другу одноименными полюсами *A* и *a*; их вихри будут полностью противоположны один другому. Из *C* магнитная субстанция пойдет частью через *A*, частью через *a*, и эти два вихря будут стараться уничтожить друг друга; магнитная субстанция, движущаяся через *E*, чтобы вернуться в *A*,

встречает в *D* магнитную субстанцию другого магнита, которая движется через *e*, чтобы вернуться в *a*; поэтому должно произойти столкновение между этими двумя вихрями, в результате чего каждый из них будет отталкивать другой вихрь. Это отражается и на самих магнитах, которые в этом положении отталкивают друг друга. То же самое произошло бы, если бы два магнита были обращены друг к другу полюсами *B* и *b*, поэтому одноименные полюса называют «враждующими» — они взаимно отталкиваются.

Но если магниты повернуть друг к другу разноименными полюсами — из этого следует противоположный эффект, и В. В. сразу увидит, что они должны взаимно притягиваться.



На прилагаемом рисунке, где два магнита повернуты друг к другу полюсами *B* и *a*, магнитная субстанция, выходящая из полюса *B*, поскольку ей представляется более удобным войти в другой магнит через его полюс *a*, не станет отклоняться к бокам магнита, чтобы вернуться в *A*, но перейдет через *C* непосредственно в другой магнит, из которого она выйдет в *b*.

Оттуда она повернет в обе стороны *d* и *d*, чтобы вернуться, однако не через полюс *a*, но через полюс *A* другого магнита, сделав круг через *e* и *f*. Таким образом, вихри этих двух магнитов объединяются в один, как если бы был только один магнит. Поскольку этот единый вихрь испытывает со всех сторон давление эфира, он толкает магниты навстречу друг другу, и нам будет казаться, что магниты взаимно притягиваются.

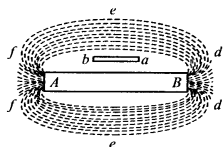
Вот причина, по которой разноименные полюса называют «дружественными», а одноименные — «враждебными»; теперь В. В., должно быть, понимает сущность основного магнитного явления, состоящего в том, что разноименные полюса притягиваются, а одноименные — отталкиваются.

Письмо 179

*О свойствах железа и стали
и о том, каким образом они могут получить
магнитную силу*

Мы установили, что суть магнита заключается в каналах, по которым магнитная субстанция может двигаться только в одном направлении, поскольку клапаны, расположенные во множестве вдоль этих каналов, мешают движению в обратном направлении. Теперь В. В. легко поймет, что эти каналы — не что иное, как последовательность пор такого устройства $\sum n$, выстланных изнутри ворсинками. Ворсинки mn направлены в одну сторону. Множество одинаковых частиц, содержащих поры, соединившись и выстроившись в одном направлении, образуют магнитный канал. Поэтому недостаточно, чтобы вещество магнита содержало большое количество таких частиц; они еще должны располагаться так, чтобы получались каналы, тянущиеся от одного конца магнита до другого, дабы магнитная субстанция могла проходить по ним насквозь. Я предполагаю, что и железо, и сталь содержат такие частицы в большом количестве. Однако они не располагаются так, как я только что описал; они, скорее, рассеяны по всему объему, и не хватает только порядка в расположении пор, чтобы эти тела стали настоящими магнитами. После того как это произойдет, они, сохранив все свои свойства, отличаются от других кусков железа или стали лишь тем, что, помимо всего прочего, наделены свойствами магнита; игла или нож служат нам независимо от того, обрели они магнитную силу или нет. Перемена, происшедшая внутри и упорядочившая расположение пор, как того требует магнетизм, — внешне незаметна. Сталь или железо, получившие магнитную силу, называют искусственными магнитами, чтобы отличать их от естественного магнита, похожего на камень, — хотя у тех и у других магнитов свойства одинаковы. В. В. будет, несомненно, любопытно узнать, каким образом можно придать магнитную силу стали и железу, превратив их в искусственные магниты. Дело нехитрое — одного соседства магнита довольно, чтобы сделать железо немного магнитным. Это — результат воздействия магнитного вихря, и не нужно прикасаться железом к магниту. Каким бы твердым ни казалось нам железо, мельчайшие частицы, заключающие в себе поры, которые были изображены выше, весьма подвижны в веществе железа, и самой небольшой силы довольно, чтобы изменить их положение. Поэтому магнитная субстанция вихря, войдя в железо, без труда расставит первые встреченные там магнитные поры по направлению своего движения — во всяком случае те, положение которых не слишком отклоняется от этого направления; пройдя через эти поры, она подобным же образом воздействует на следующие — до тех пор, пока не проделает проход сквозь железо, сформировав тем самым несколько магнитных каналов. Форма куска железа может много способствовать этому.

Наиболее подходящей является удлинненная фигура, располагающаяся по направлению вихря, потому что магнитная субстанция, пройдя через всю ее длину, тем самым переставит множество частиц, несущих поры, в положение, необходимое для того, чтобы магнитные каналцы получились более длинными. Нет никакого сомнения, что, чем больше таких частиц будет использовано для построения каналцев и чем более длинными и непрерывающимися будут эти каналцы, тем сильнее будет движение магнитной субстанции, и, следовательно, тем большей станет магнитная сила.



Было замечено также, что, если железо, помещенное в магнитный вихрь, сильно встряхивают или ударяют, оно от этого приобретает более высокую степень намагниченности, потому что мельчайшие частицы его сотрясаются от этих толчков; тем самым они приобретают больше свободы и легче поддаются действию магнитной субстанции, которая проникает сквозь них. Если поместить небольшой железный брусок ab в вихрь магнита AB так,

чтобы его направление ab более или менее совпадало с направлением потока def магнитной субстанции, она с легкостью пройдет сквозь брусок и образует в нем магнитные каналцы, особенно если в это время встряхивать и ударять брусок, чтобы облегчить ее прохождение. Мы видим также, что магнитная субстанция, которая входит через полюс A и выходит через полюс B магнита, войдет в брусок через его оконечность a и выйдет через оконечность b , так что a станет полюсом, одноименным с A ; b станет полюсом, одноименным с B . После того как мы вынем брусок ab из магнитного вихря, он станет искусственным магнитом, хотя и очень слабым, который создаст свой собственный вихрь и сохранит свою силу, пока его магнитные каналцы не разрушатся. Это последнее может произойти тем легче, что поры в железе подвижны. Из этого видно, что то же самое свойство, которое способствует наведению магнетизма, способствует и его потере. Природный магнит менее склонен терять свою силу, потому что его поры держатся значительно более стойко и нужны гораздо большие усилия, чтобы привести их в беспорядок. Подробнее я поговорю об этом далее.

Здесь я попытаюсь объяснить наиболее естественный способ намагнитить железо (хотя сила, которую оно при этом получает, невелика). Это поможет нам понять явление весьма примечательное и довольно универсальное. Было замечено, что печные щипцы и другие железные инструменты, которые стоят обычно в вертикальном положении, так же как железные шесты, водружаемые на колокольни, со временем приобретают довольно заметную магнитную силу. Отмечалось также, что если бить по железному шесту, находящемуся в вертикальном положении, или если раскалить его докрасна и затем, в том же положении, опустить в холодную воду, он слегка намагничивается, притом что никакой магнит к нему не приближался.

Чтобы понять причину этого явления, В. В. достаточно вспомнить, что сама Земля является магнитом, и, следовательно, окружена магнитным вихрем; склонение и наклонение магнитной стрелки показывают нам направление этого вихря в каждой данной местности; поэтому, если железный шест длительное время стоит в одном положении, нам не следует удивляться тому, что он намагничивается. Кроме того, мы видели, что здесь, в Берлине, наклонение магнитной стрелки равно 72° , и так как почти повсюду в Европе оно имеет ту же величину, это наклонение отличается от вертикали не более, чем на 18° ; таким образом, вертикаль не слишком отличается от направления магнитного вихря. Поэтому в железный шест, который долгое время держали в вертикальном положении, войдет в конце концов магнитный вихрь, и, следовательно, этот шест должен получить магнитную силу.

В других краях, где наклонение незаметно, как это бывает где-нибудь у экватора, вертикальное положение уже не делает железные шесты намагниченными; их, скорее, нужно располагать горизонтально, так, чтобы их направление совпадало с магнитным склонением, если хотим, чтобы они приобрели магнитную силу. Я говорю здесь только о железе; сталь слишком для этого тверда; чтобы намагнитить ее, надлежит прибегнуть к более действенным средствам.

10 ноября 1761 г.

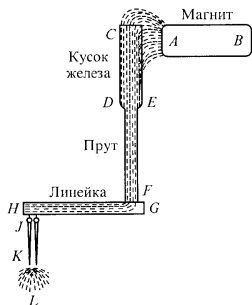
Письмо 180

О действии магнитов на железо и о явлениях, наблюдаемых, когда кусочки железа помещают вблизи магнита

Хотя вся Земля в целом может рассматриваться как один большой магнит и окружена магнитным вихрем, который повсеместно задает направление магнитным стрелкам, — ее магнитная сила, однако, очень слаба и значительно меньше, чем у посредственного магнита, что кажется очень странным ввиду огромных размеров Земли.¹ Однако объясняется это, без сомнения, тем, что мы очень удалены от истинных магнитных полюсов Земли, которые, по всей видимости, погружены на большую глубину: каким бы сильным ни был магнит, его сила велика лишь вблизи от него, и чем больше мы удаляемся, тем она становится меньше и вскоре пропадает. По этой причине магнитная сила, которую приобретают со временем куски железа, соответствующим образом расположенные в магнитном вихре Земли, невелика и едва чувствуется, если только железо не слишком мягкое и не имеет формы, способствующей возникновению вихря, на что я имел честь обратить внимание В. В.

В соседстве с магнитом средней силы эффект намагничивания намного больше, и небольшие куски железа вскоре приобретают от этого соседства

весьма ощутимую магнитную силу; поэтому они притягиваются к магниту, в то время как в земном магнитном вихре этот эффект незаметен: он только задает направление магнитным стрелкам, но не притягивает их и не увеличивает их вес.



Кусок железа, помещенный в магнитный вихрь, демонстрирует нам весьма любопытные явления, вполне заслуживающие особого рассмотрения. Во-первых, такой кусок железа не только притягивается к магниту, но и сам притягивает другие куски железа. Пусть AB — естественный магнит, рядом с которым — по соседству с полюсом B — помещают кусок железа CD ; мы увидим, что этот последний способен удерживать железный брусок EF . Если приложить к этому бруску в F еще железную полоску GH в каком-либо положении, например горизонтальном, придерживая ее в H , — мы заметим, что она не только притягивается бруском в F , но и сама способна удерживать притянутые в H иглы JK , а эти иглы воздействуют в свою очередь на железные опилки L , притягивая их.

Таким способом можно распространить действие магнитной силы на очень большое расстояние и даже заставить ее изменить направление — располагая железные предметы различным образом; однако она становится все слабее. В. В. поймет без труда, что это воздействие тем значительнее, чем сильнее магнит AB сам по себе и чем ближе к нему находится первый кусок железа CD . У покойного г-на де Мопертьюи был большой магнит, столь превосходный, что на расстоянии нескольких футов от него железный предмет CD проявлял еще немалую магнитную силу.

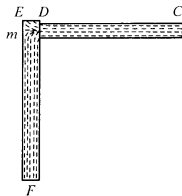
Чтобы эти явления стали понятными, В. В. нужно только принять во внимание, что магнитная субстанция, стремительно выходящая через северный полюс B магнита, входит в кусок железа и так располагает в нем поры, что образуются магнитные каналы, по которым она затем свободно движется. Подобным же образом войдя в брусок, она и там создает себе магнитные каналы; и далее то же самое. С того момента, как магнитная субстанция, выйдя из одного тела, вошла в другое, эти два тела должны взаимно притягиваться по той самой причине, по которой, как я доказал, должны притягиваться два магнита, обращенные друг к другу дружественными полюсами. Всякий раз, когда мы видим, как два куска железа взаимно притягиваются, мы можем с уверенностью заключить, что магнитная субстанция, выходящая из одного из них, входит в другой благодаря постоянному движению, которым она прони-

зывает эти тела. Именно так, при том расположении железных предметов, какое показано на чертеже, магнитная субстанция пронизывает своим движением все эти предметы. В этом истинная причина того, что они взаимно притягиваются.

Эти явления протекают точно таким же образом, без каких бы то ни было различий, если к куску железа обращают другой полюс *A* магнита, тот, куда магнитная субстанция входит; тогда все движения происходят в обратном направлении, но прежний путь сохраняется, ибо в этом случае магнитная субстанция, содержащаяся в куске железа, выйдет из него и устремится в магнит; покидая железо, она приложит такую же силу, чтобы соответствующим образом уложить его поры, как если бы она проникала в железо с тою же скоростью. Для этого нужно, чтобы железо было достаточно мягким, а его поры достаточно податливыми; тогда они уступят воздействию магнитной субстанции. Единственная сложность, с которой В. В. может встретиться здесь, это, без сомнения, такая: почему магнитная субстанция, входя в куски железа, изменяет свое направление и следует вдоль этих предметов, как я изобразил ее путь на чертеже? Это очень важная проблема теории магнетизма; здесь мы видим, до какой степени форма кусков железа способствует возникновению магнитных явлений.

Чтобы объяснить это обстоятельство, нужно вспомнить, что наша тончайшая субстанция движется очень легко через магнитные поры, где она свободна от эфира, и встречает весьма значительное сопротивление, когда с немислимой скоростью покидает магнитные поры, чтобы вернуться в эфир и в воздух.

Предположим, что магнитная субстанция, пройдя сквозь железный брусок *CD*, проникает в железную полоску *EF*, поставленную перпендикулярно. Войдя, она, конечно, сохранила бы прежнее направление и вышла бы через *m*, если бы не нашла более подходящей дороги, чтобы продолжить свое движение. Поскольку же в *m* она встречает большие препятствия, она сразу же изменяет свое направление и несколько отклоняется в сторону *F*; находя поры на пути своего движения, она будет все больше отклоняться от своего первоначального направления, чтобы пройти полоску *EF* насквозь по всей ее длине. Маг-



нитная субстанция словно боится выйти из железа; она старается продолжить свое движение внутри железа столько, сколько это возможно, и то, что полоска длинная, доставляет магнитной субстанции такую возможность. Если бы полоска была очень короткой, магнитная субстанция, несомненно, вышла бы через *m*; но в нашем случае она в своем движении следует направлению *EF*, открывающемуся перед ней благодаря тому, что полоска — длинная, пока не будет вынуждена выйти через *F*, потому что все магнитные каналы формировались в том же направлении и не позволяют, чтобы тончайшая субстанция еще раз изме-

нила свое направление возле F и двинулась обратно вдоль полоски. Эти каналы не допускают движения в обратном направлении не только потому, что они заполнены движущейся субстанцией, но и по самой своей природе.

14 ноября 1761 г.

Письмо 181

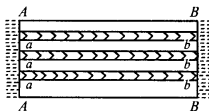
Об оправе магнитов

Теперь В. В. знает, почему железо способно не только получить магнитный поток от магнита и передать его на довольно значительное расстояние, но может также изменить его направление. Следовательно, когда мы прикладываем к магниту куски железа — это почти то же самое, как если бы магнит стал больше, ибо железо по отношению к магнитной субстанции приобретает те же свойства, что и магнит. Поскольку таким способом можно к тому же менять направление магнитного потока, ибо полюса — это те места, где магнитная субстанция входит в магнит и выходит из него, — мы властны переносить полюса, куда захотим.

Именно на этом принципе основан прием — заключать магниты в оправу; он заслуживает того, чтобы я дал о нем представление В. В., потому что таким способом магнитам сообщают большую силу.

Обычно магнитам, извлеченным из рудника, придают форму прямоугольного параллелепипеда. Сечение такого магнита — прямоугольник $AABB$; грань AA пусть будет полюсом, через который магнитная субстанция входит, а BB — тем, через который она выходит. Следовательно, магнит заполнен магнитными каналами ab , проходящими вдоль него по направлению AB . По этим каналам с огромной скоростью свободно движется магнитная субстанция без всякой примеси эфира, проталкиваемая по ним силой упругости эфира. Посмотрим теперь, каким способом обычно оправляют магнит.

К каждой из граней AA и BB , где находятся полюса магнита, прикладывают железные пластинки aa и bb , заканчивающиеся внизу выступами $\mathcal{U}$ и $\mathfrak{B}$, которые называются ножками. Это — то, что называют оправой магнита, и тогда говорят, что он оправлен. В этом случае магнитная субстанция, которая вырвалась бы через грань BB , входит в железную пластинку bb ; поскольку выйти из нее в воздух, следуя своему первоначальному направлению, — затруднительно, это заставляет магнитную субстанцию изменить направление и проследовать вдоль пластинки bb в ножку $\mathfrak{B}$. Там она вынуждена выйти — за отсутствием железа, по которому она могла бы продолжить свое движение. С другого конца — то же самое; вся тончайшая субстанция пройдет через ножку $\mathcal{U}$, откуда

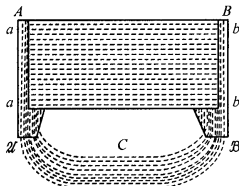


она проследует по пластинке *aa*. Затем она изменит направление, чтобы войти в магнит и пройти вдоль него по магнитным каналам. Сначала в магнит проникает тончайшая субстанция, находящаяся в пластинке, за нею следует та, что находится в ножке *Ц*, которая заменяется тою, что была снаружи. Эта последняя, движимая упругостью эфира, входит в ножку *Ц* и пластинку *aa* с огромной скоростью и силой, которая может устанавливать полюса и формировать магнитные каналы.

Из этого видно, что по обе стороны движение должно остаться прежним, с тем единственным различием, что магнитная субстанция будет входить через ножку *Ц*, а выходить через другую ножку *В*, ибо полюса оправленного магнита находятся теперь именно в ножках. А так как полюса, которые прежде распространялись на всю площадь граней *AA* и *BB*, теперь сконцентрировались в ножках *Ц* и *В*, то вполне естественно, что магнитная сила этих новых полюсов должна быть значительно больше. Поэтому магнитный вихрь образуется с большей легкостью; магнитная субстанция, выходящая из ножки *В*, без труда вернется в ножку *Ц*, пройдя через *C*, а остальная часть магнита не будет более окружена вихрем, если только немного магнитной субстанции не рассеется с пластинки *bb*, будучи не в состоянии изменить направление столь внезапно, и если не войдет немного субстанции через пластинку *aa*. Благодаря этому возникает слабый вихрь, переносящий тончайшую субстанцию непосредственно с пластинки *bb* на *aa*; однако если магнит оправлен хорошо, этот второй вихрь почти неощутим, и, следовательно, тем сильнее поток, проходящий через ножки магнита.

Чтобы хорошо оправить магнит, нужно соблюдать следующее основное правило: необходимо тщательно отполировать как обе грани *AA* и *BB*, так и железные пластинки, дабы, когда их приложат к граням, они всюду идеально прилегали к магниту. Зачем это нужно — вполне очевидно, поскольку тончайшая субстанция легко переходит из магнита в железо тогда, когда между ними нет никакого другого вещества; но если между магнитом и пластинками имеется пустота или воздух, бег магнитной субстанции будет прерван, она потеряет почти все свое движение; его не хватит, чтобы проложить путь в железе, создав в нем магнитные каналы.

Кроме того, для оправ лучше всего брать самое мягкое железо, потому что его поры весьма податливы и легко выстраиваются вдоль потока магнитной субстанции. Поэтому такое железо представляется наиболее подходящим для того, чтобы резко изменять направление потока; создается впечатление, что магнитная субстанция предпочитает двигаться по такому железу столь долго, сколько это возможно, и выходит из него лишь тогда, когда продолжить дви-



жение невозможно: она скорее пойдет по самому длинному и извилистому пути, нежели покинет железо. Все это не относится к природным магнитам, поскольку их магнитные каналы уже сформированы, равно как и к стали, чьи поры не столь послушны магнитному потоку. Зато, если в стали такие каналы однажды возникли, они сохраняются дольше и тем поддерживают свою магнитную силу, тогда как мягкое железо, какую бы силу ни проявляло оно в соседстве с магнитом, почти полностью теряет ее, стоит убрать магнит.

Что касается других свойств оправы, то тут нужно обратиться к опыту. Относительно толщины пластинок известно, что слишком большая толщина столь же вредит делу, как и слишком малая. Однако по большей части самые подходящие пластинки — очень тонкие. Это могло бы показаться весьма странным, если бы мы не знали, что магнитная субстанция тоньше и нежнее, чем эфир, и, следовательно, сколь угодно тонкая пластинка может принять в себя огромное количество этой субстанции.

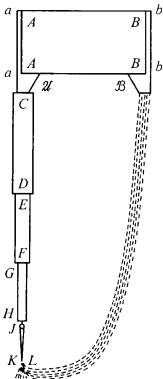
17 ноября 1761 г.

Письмо 182

О действии и силе оправленных магнитов

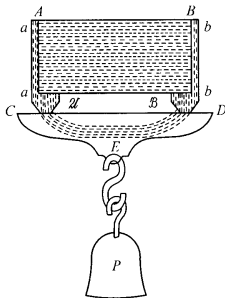
Итак, оправленный магнит проявляет наибольшую силу у ножек оправы, потому что в них сосредоточены полюса, и каждая ножка может поднять железный груз тем больший, чем лучше и совершеннее магнит.

Так магнит *AABB*, оправленный железными пластинками *aa* и *bb*, которые завершаются ножками *Ц* и *В*, может притянуть к ножке *Ц* и удержать не только металлическую полоску *CD*, но эта последняя притянет еще и другую, *EF*, поменьше, а та — еще меньшую, *GH*, которая в свою очередь сможет удержать иглу *JK*, которая наконец притянет железные опилки *L*. Причина здесь в том, что магнитная субстанция движется сквозь все эти предметы, чтобы войти в полюс *Ц*; или, если бы это был другой полюс, через который магнитная субстанция покидает магнит, она точно так же прошла бы сквозь предметы *CD*, *EF*, *GH*, *JK*. Всякий же раз как субстанция, выйдя из одного железного предмета, входит в другой, мы наблюдаем притяжение между этими предметами, или, вернее, их толкает друг к другу окружающий эфир, потому что поток магнитной субстанции между этими предметами уменьшает давление эфира.



Когда подобным образом нагружают один из полюсов магнита, направление магнитного вихря сильно меняется. Если нет этой нагрузки, магнитная субстанция, выходящая из полюса $\mathfrak{B}$, изменив свое направление, течет к другому полюсу $\mathfrak{U}$. Теперь же, когда вход в этот полюс в достаточной мере прикрыт притянутыми предметами, субстанция, выходящая из полюса $\mathfrak{B}$, должна пойти совсем другим путем, который приведет ее в конце концов к последнему из предметов — к JK . Часть ее несомненно направится к предпоследнему предмету GH , а также к тем, что находятся еще ближе к магниту, ибо более удаленные из предметов, поскольку они меньших размеров, недостаточно прикрывают более близкие. Однако в любом случае вихрь дотянется до последнего из предметов. Таким способом, если правильно подобрать все эти предметы по длине и толщине, можно заставить магнит нести гораздо большее количество предметов, чем если бы его нагрузили только одним, форма которого также должна быть принята во внимание. Но, чтобы заставить магнит нести наибольший груз, какой только возможно, нужно сделать так, чтобы оба полюса объединили свои силы.

Для этого к двум полюсам магнита $\mathfrak{U}$ и $\mathfrak{B}$ прикладывают кусок мягкого железа CD , идеально прилегающий к ножкам магнита, а форма его такова, что магнитная субстанция, выходящая через $\mathfrak{B}$, находит в нем наиболее удобный путь, чтобы вернуться через другой полюс $\mathfrak{U}$. Такой кусок железа называют якорем магнита. Поскольку в $\mathfrak{B}$ магнитная субстанция, выйдя из магнита, переходит в якорь, а в $\mathfrak{U}$, выйдя из якоря, переходит в магнит, то якорь будет притягиваться к обоим полюсам сразу и, следовательно, они будут держать его с большой силой. Чтобы измерить эту совокупную силу, проявляемую магнитом, к середине E якоря подвешивают груз P , который увеличивают, пока магнит не перестанет его удерживать, и тогда говорят, что этот вес уравновешивает магнитную силу магнита. Так, В. В. может услышать, как говорят, что такой-то магнит удерживает десять фунтов, другой — тридцать и т. д. Утверждают также, что гроб Магомета удерживается на весу силой магнита. Это не невозможно, поскольку уже изготовлены искусственные магниты, удерживающие более ста фунтов.¹



Магнит, снабженный якорем, не позволяет вырваться на волю даже малой доле магнитной субстанции; ее вихрь полностью замыкается внутри магнита и железа, так что в воздух не уходит ничего. Поскольку магнетизм проявляет свою силу, только если магнитная субстанция выходит из одного тела, чтобы проникнуть в другое, то такой магнит, вихрь которого замкнут, не должен был

бы проявлять никакой магнитной силы ни в каком месте. Однако если дотронуться до пластинки острием иглы в какой-нибудь точке *a*, мы почувствуем сильное притяжение. Причина этого заключается в том, что магнитная субстанция, которая вынуждена резко менять направление, чтобы войти в каналы магнита, находит в этом случае более удобный путь по игле, и, следовательно, эта последняя будет притянута к пластинке *aa*. Но тем самым вихрь внутри магнита будет приведен в расстройство, он не будет течь столь изобильно в ножки, и, если дотронуться до пластинки несколькими иглами, или если приложить к ней более массивные железные полоски, мы полностью прервем поток через ножки. Сила, поддерживающая якорь, полностью иссякнет, так что якорь можно будет легко оторвать. Так мы узнаём, что ножки теряют в своей магнитной силе столько же, сколько ее затрачивает магнит в других местах. Исходя из этого, мы можем объяснить многие весьма удивительные явления, которые, если бы не было теории, казались бы совершенно неразрешимыми загадками.

Именно здесь следует сообщить об одном опыте, который учит нас, что, после того как мы приложили якорь к оправленному магниту, можно изо дня в день увеличивать вес, который он в состоянии нести. В конце опыта магнит сможет нести вес, зачастую вдвое превосходящий тот, что он удерживал вначале. Нужно, следовательно, объяснить, почему со временем магнитная сила в ножках оправы может становиться все больше. Описанный выше случай, когда вихрь был приведен в расстройство, показывает нам, что, сразу после того, как мы приложили якорь, поток магнитной субстанции остается еще довольно беспорядочным и что немалая часть ее будет еще выходить через пластинку *bb*; только со временем магнитная субстанция пробьет себе магнитные каналы сквозь железо. Поэтому вероятно, что, как только поток становится более свободным, он создает новые каналы в самом магните, поскольку в магните, помимо сформированных каналов, имеются, как в железе, способные к перемещению поры. Но, как только уберут якорь, поток будет этим расстроен, а новые каналы — по большей части разрушены. Магнитная сила сразу же станет столь же малой, какой она была вначале, и нужно снова переждать некоторое время, пока вихрь восстановит эти каналы в прежнем виде. Однажды я сделал искусственный магнит, который поначалу мог нести не более десяти фунтов, а спустя некоторое время я был очень удивлен, увидев, что он удерживает более тридцати. Впрочем, это наблюдается главным образом у искусственных магнитов: само время очень заметно их усиливает; однако это увеличение силы продолжается лишь до тех пор, пока не уберут якорь.

Письмо 183

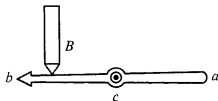
*О способе передачи стали магнитной силы.
О способе намагничивания стрелки компаса;
о простом контакте, его недостатках
и средствах их устранения*

После того как я объяснил В. В. природу магнитов вообще, мне осталось изложить тему, в равной мере любопытную и важную; речь пойдет о способе, каким железу и стали сообщают магнитную силу, в том числе самую большую, какую только возможно.

В. В. уже известно, что, если поместить железо в магнитный вихрь магнита, оно обретает магнитную силу. Однако эта сила пропадает почти полностью, как только удалят магнит, и только вихрь Земли может со временем сообщить железу некоторую магнитную силу. Сталь же, будучи более твердой, чем железо, почти совершенно нечувствительна к этому действию магнитного вихря. Для того чтобы ее намагнитить, нужны воздействия более сильные, но зато она дольше сохраняет магнитную силу.

Чтобы намагнитить сталь, необходимо до нее дотронуться или даже натереть. Я начну с того, что опишу, как поступали прежде, чтобы намагнитить стрелки, которыми пользуются в компасах; вся операция заключалась в том, что их натирали полюсом сильного магнита, простого или оправленного. Стрелку *abc* клали на стол и проводили по ней полюсом *B* магнита от *b* к *a*; добравшись до *a*, высоко поднимали магнит и по воздуху возвращали его к *b*; эту операцию повторяли много раз подряд, всякий раз остерегаясь приблизиться к стрелке другим полюсом магнита, потому что он бы все испортил. Проведя несколько раз полюсом *B* магнита по стрелке от *b* к *a*, мы увидим, что она намагнитилась и что конец *b* стал полюсом, одноименным с тем полюсом магнита, которым его терли. Поэтому если хотят, чтобы конец *b* стал северным полюсом, то, натирая стрелку, нужно вести магнит от *b* к *a*; но если бы мы захотели натирать стрелку южным полюсом магнита, нужно было бы приложить его к концу *a* и вести к концу *b*.

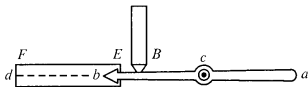
Такой способ намагничивать был назван «способом простого касания», потому что прикасаются только одним полюсом. Однако этот способ весьма неудовлетворителен; так можно сообщить стрелке лишь незначительную силу, даже если пользоваться самым великолепным магнитом. Кроме того, этот способ не достигает цели, если сталь доведена до высокой степени твердости (хотя это состояние было бы наилучшим для того, чтобы магнитная сила осталась надолго). В. В. легко может судить о недостатках способа «простого касания».



Предположим, что B — полюс магнита, тот, через который выходит магнитная субстанция (ибо проявления обоих полюсов столь похожи, что невозможно заметить ни малейшего различия). Если приставить этот полюс к концу стрелки b , магнитная субстанция войдет в нее со всею скоростью, с какой она движется в магните; эта скорость намного превосходит скорость вихря вне магнита, в воздухе. Но что случится с этой субстанцией в стрелке? Она не сможет выйти через конец b ; поэтому она постарается пройти через стрелку насквозь по направлению к a ; полюс B магнита, двигаясь в том же направлении, будет тому способствовать. Но когда полюс B достигнет a , магнитной субстанции будет трудно выйти из стрелки через конец a , и это породит силы, действующие в обратном направлении; они будут толкать магнитную субстанцию от a к b . Однако второй из этих эффектов не может появиться прежде, чем полностью прекратится первый. Затем, когда полюс B снова подносят к оконечности b стрелки, второй эффект прекращается, но при этом поток в обратном направлении от b к a не возникает. Следовательно, когда полюс B подойдет через c к a , он на этот раз с большей легкостью породит поток магнитной субстанции от a к b , особенно если на участке ca нажимают сильнее; из этого ясно, что стрелка может получить лишь небольшую магнитную силу.

Некоторые натирают только половинку ca , вода полюсом магнита от c к a ; другие ограничиваются тем, что дотрагиваются до кончика a стрелки полюсом B магнита; все это с примерно одинаковым успехом. Однако очевидно, что магнитная субстанция, если она входит только через оконечность a , не может действовать столь энергично на поры стрелки, чтобы выстроить их в ряды соответственно природе магнетизма, и что сила, которою можно таким путем наделить стрелку, должна быть очень небольшой или даже равной нулю — если сталь хорошо закалена.

Все же мне представляется, что недостатки «простого касания» можно было бы устранить, применив следующий метод, в успехе которого я несколько не сомневаюсь, хотя его еще не испробовал; в этом меня убеждают результаты других опытов подобного рода.



Мне бы хотелось вставить кончик b стрелки в полосу мягкого железа EF ; полагаю, что эту полосу следует сделать очень тонкой и узкой, насколько это возможно, но кончик стрелки должен иметь с

ней идеальный контакт и плотно входить в точно подогнанный паз. Когда мы приложим полюс B магнита к оконечности b стрелки, магнитная субстанция, которая в нее проникнет, не встречая почти никаких препятствий при движении по железной полоске, двинется сначала по направлению bd ; по мере того как мы будем приближать полюс магнита к a , то, чтобы магнитная субстанция продолжала двигаться в прежнем направлении, нужно будет только упорядочить расположение пор, на которые она в это время воздействует. Когда мы

доберемся до a , все поры, или по крайней мере большая их часть, будут уже расположены соответственно этому направлению. Поэтому, когда мы снова поведем магнит от оконечности b , мы ничего этим не нарушим, но еще более облегчим движение потока магнитной субстанции в направлении bd , выстраивая в ряды те поры, которые устояли при первой манипуляции; таким образом, магнитные каналцы в стрелке будут становиться все более совершенными. Для этого будет довольно нескольких движений полюса B , если только магнит не слишком слабый. Я не сомневаюсь, что самая закаленная сталь, ставшая столь твердой, насколько это возможно, уступит перед этим методом. Это даст большой выигрыш при изготовлении компасов, ибо было замечено, что обычные стрелки часто теряют всю свою магнитную силу после какого-нибудь незначительного случая. Это подвергло бы суда страшной опасности, если бы в запасе не было других стрелок. Но если делать стрелки из хорошо закаленной стали, таких случайностей можно не бояться, и, поскольку требуется больше усилий, чтобы их намагнитить, постольку они и сохраняют это свойство с большим упорством.

24 ноября 1761 г.

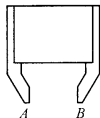
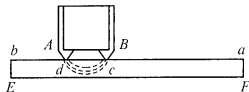
Письмо 184

О двойном контакте и о средствах сохранения магнитной материи в намагниченных брусках

Вместо этого метода намагничивать железо или сталь, натирая их одним из полюсов магнита, ныне применяют «двойное касание» и натирают двумя полюсами сразу; это нетрудно, если магнит опрaвлен.

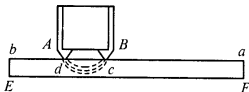
Пусть EF будет железный или стальной брусок, который хотят намагнитить. Закрепив его хорошенько на столе, прикладывают в нем обе ножки A и B магнита.

В. В. без труда увидит, что в этом положении магнитная субстанция, которая выходит из магнита через ножку B и проникает в брусок, распространилась бы по всем направлениям, если бы ножка A не притягивала к себе магнитную субстанцию, содержащуюся в порах бруска. Эта угечка через d вынудит магнитную субстанцию, проникающую через полюс B , пойти от c по направлению к d , при условии, что полюса A и B не очень удалены друг от друга. Тогда магнитный поток проложит себе путь в бруске, чтобы пройти от полюса B к полюсу A . На своем пути он расположит поры в бруске таким образом, чтобы получились магнитные капальцы. Совсем нетрудно убедиться, имеет ли место это явление или нет, — следует посмотреть, сильно ли



притягивается магнит к бруску. Это происходит непременно, если брусок — из мягкого железа, потому что в такое железо магнитная субстанция проникает с легкостью. Однако если брусок стальной, притяжение часто бывает очень слабым, а это является признаком того, что магнитная субстанция не может пробить себе дорогу из c к d . Из этого делают вывод, что магнит слишком слаб или расстояние между полюсами слишком велико; тогда нужно воспользоваться другим магнитом, либо более сильным, либо с более сближенными ножами или, наконец, заменить оправу магнита, как изображено на рисунке.

Однако скоро я буду иметь честь предложить другие способы исправить этот недостаток.



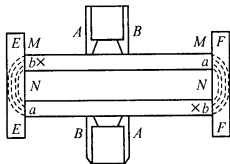
Итак, после того как поры в малом промежутке cd расположились надлежащим образом, остается только провести много раз магнитом взад-вперед по бруску от одного конца до другого, не отрывая магнит, до тех пор пока не увидим, что притяжение

более не увеличивается, ибо есть твердо установленное правило: притяжение увеличивается по мере того, как возрастает магнитная сила. Посредством этих манипуляций брусок EF намагничивается таким образом, что конец E , к которому был обращен полюс A , становится полюсом, дружественным по отношению к A и, следовательно, одноименным другому полюсу B . Если затем убрать магнит, то, поскольку магнитные каналы образовались по всей длине бруска, магнитная субстанция, находящаяся в воздухе, пройдет по этим каналам и сделает из бруска настоящий магнит. Она будет входить через оконечность a и выходить через оконечность b , откуда по крайней мере некоторая часть субстанции вернется в a и образует вихрь такой конфигурации, какая соответствует форме бруска.

По этому случаю я замечу, что образование вихря абсолютно необходимо, чтобы увеличить магнитную силу, так как если бы вся магнитная субстанция, выходящая через оконечность b , полностью рассеивалась и не возвращалась в a , воздух не мог бы снабдить другую оконечность a достаточным количеством магнитной субстанции. Это уменьшило бы магнитную силу. Но если значительная часть субстанции, выходящей через b , возвращается в a , воздух вполне может возместить потери и, вероятно, даже с избытком, если магнитные каналы бруска способны эту субстанцию принять. Следовательно, в этом случае брусок сможет приобрести значительно большую магнитную силу.

Эти рассуждения подводят меня к следующей теме, которую я хотел бы изложить В. В., — каким способом можно сохранить магнитную субстанцию в намагниченных брусках. Поскольку задача состоит в том, чтобы помешать магнитной субстанции, которая движется по этим брускам, рассеяться в воздухе, то из равных по размеру брусков всегда составляют пары. Бруски кладут на стол параллельно друг другу, так что их дружественные или разноименные полюса повернуты в одну сторону, как это видно на прилагаемом рисунке.

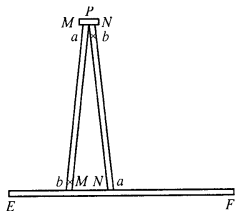
MM и *NN* — это два бруска, дружественные полюса которых (*a* и *b*, *b* и *a*) повернуты в одну сторону. Чтобы не ошибиться, сначала делают на каждом бруске пометку, например $\times$ на конце, являющемся северным полюсом; затем прикладывают к ним с каждой стороны по куску мягкого железа *EE* и *FF*, чтобы получить магнитный поток. Таким путем вся магнитная субстанция, движущаяся через брусок *MM* и выходящая через оконечность *b*, переходит в кусок железа *EE* и без труда прокладывает себе в нем дорогу, чтобы перебраться в оконечность *a* другого бруска *NN*, откуда она через *b* проникает в другой кусок железа *FF*, который снова приведет ее к первому бруску *MM* через *a*. Таким образом, магнитная субстанция будет ходить по кругу, так что ничего не будет теряться; и даже в том случае, если поначалу ее будет слишком мало для вихря, воздух доставит недостающее, и вихрь через два бруска устремится изо всех сил.



Можно также использовать подобное расположение двух брусков для того, чтобы намагнитить оба бруска одновременно. Для этого достаточно водить двумя полюсами магнита по обоим брускам, переходя с одного на другой по кускам железа, и сделать так много кругов, тщательно следя за тем, чтобы полюса магнита *A* и *B* были повернуты таким образом, как указано на приведенном рисунке.

Этот способ намагничивать два бруска одновременно, без сомнения, более действен, чем предыдущий, потому что с первого же оборота магнита магнитная субстанция потечет по обоим брускам через куски железа. Затем, продолжая водить магнитом вдоль брусков, мы будем укладывать все большее количество пор в соответствии с направлением магнитного потока и проложим множество магнитных канальцев; от этого магнитный поток будет все более и более усиливаться, не ослабевая ни на миг. Если пластинки — толстые, будет полезно перевернуть их и точно так же потереть другие грани, чтобы магнитное воздействие проникло в них на всю их глубину.

Получив такие намагниченные бруски *MM* и *NN*, можно воспользоваться ими вместо природных магнитов, чтобы намагничивать другие бруски. Их прикладывают друг к другу стоя так, чтобы два дружественных полюса *A* и *B* соприкасались сверху, а внизу два других дружественных полюса *B* и *A* разводятся на такое расстояние, какое сочтут подходящим. Затем двумя нижними концами, играющими роль полюсов магнита, натирают два других бруска *EF* так, как я описал выше.



Поскольку эти два бруска соединены в виде циркуля, мы имеем полную возможность раздвигать их на такое расстояние, на какое захотим; с магнитом так нельзя. Наверху же, там, где бруски соприкасаются, магнитный поток будет легко переходить из одного бруска в другой; можно еще приложить к ним в этом месте небольшой кусок мягкого железа P , чтобы облегчить движение этого потока. Таким образом можно будет быстро намагнитить столько двойных брусков, сколько мы захотим.

28 ноября 1761 г.

Письмо 185

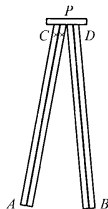
Как сообщить стальным брускам очень большую магнитную силу при помощи других брусков, обладающих лишь очень слабой магнитной силой

Хотя этот способ намагничивания посредством двойного касания предпочтительнее предыдущего, нельзя, однако, увеличить магнитную силу сверх определенной величины. Пользуемся ли мы природным магнитом или двумя намагниченными брусками, натирая другие бруски, эти последние никогда не получают такой силы, какую имеют первые. Результат не может превзойти породившую его причину. Если магнитная сила натирающих брусков невелика, то другие, которые ими натираются, будут еще слабее. Объяснить это нетрудно: если бруски, вовсе лишенные магнитной силы, не могут породить ее в других брусках, то и малая магнитная сила не способна породить большую, во всяком случае, посредством того метода, который я только что описал.

Однако это правило не следует понимать буквально, как если бы было совершенно невозможно породить большую магнитную силу посредством меньшей. Я буду иметь честь изложить В. В. метод, применяя который, мы можем увеличивать магнитную силу почти до такой величины, до какой захотим, начав при этом с самой малой. Это — открытие последнего времени, которое заслуживает тем большего внимания, что оно позволяет нам гораздо лучше понять природу магнетизма.

Итак, предположим, что поначалу у нас есть только очень слабый магнит или за неимением настоящего магнита железные полосы, ставшие слегка намагниченными лишь благодаря магнитному вихрю Земли, как я это имел честь описать В. В. в моих предыдущих письмах. Остается раздобыть восемь стальных брусков, которые должны быть небольшими и из незакаленной стали, чтобы легче было придать им ту небольшую магнитную силу, которую слабый магнит или вышеупомянутые полосы (предположим, что они слегка намагничены) способны сообщить этим брускам, если потерять каждую пару тем способом, что я изложил выше. Имея теперь четыре пары брусков, слегка намагниченных, возьмем две пары и соединим их, как это показано на рисунке.

Если соединить два бруска одноименными полюсами, из них получается один, двойной толщины; тогда составляют «циркуль» из двух сдвоенных брусков AC и BD , которые соприкасаются верхними концами C и D ; чтобы замкнуть магнитный поток, можно приложить к ним сверху кусок мягкого железа P . Внизу ножки «циркуля» раздвигают, насколько полагают нужным, и натирают ими одну за другой остальные пары брусков, которые от этого приобретают большую силу, чем имели прежде, поскольку две пары брусков объединили свои силы. Теперь нужно только соединить две пары вновь натертых брусков таким же способом и натереть ими одну за другой две первые пары, которыми мы пользовались в первый раз, — и сила этих последних заметно возрастет. Затем эти две пары нужно соединить и натереть еще раз другие, чтобы этим увеличить их магнитную силу, и так натирать поочередно каждую пару двумя другими парами, соединенными вместе. Таким путем можно увеличить их магнитную силу до такой степени, что ее дальнейшее увеличение станет невозможным, сколько бы мы ни продолжали эти действия. Если имеется более четырех пар таких брусков, то вместо того чтобы соединять их по две, можно соединять по три и затем натирать ими другие пары: так их сила будет увеличиваться быстрее.

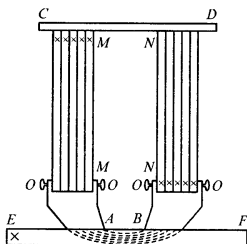


Теперь главные трудности преодолены, и при помощи этих брусков, соединяя по две или даже по несколько пар вместе, будем натирать ими другие пары, сделанные из хорошо закаленной стали и имеющие такие же или еще большие размеры, чем первые; этим способом мы можем придать им самую большую силу, какую они только способны иметь.

Начав с маленьких брусков, которые я только что описал, можно, постепенно увеличивая масштаб этих манипуляций, дойти до брусков огромной величины, сделанных из хорошей закаленной стали, в которых магнитная сила наиболее устойчива. Нужно только отметить, что, для того чтобы натирались большие бруски, нужно соединять по несколько пар вместе; их вес должен по меньшей мере вдвое превышать вес большого бруска. Однако в любом случае лучше продвигаться постепенно и натирать каждую категорию брусков такими брусками, которые лишь ненамного меньше, так, чтобы было достаточно соединить вместе две пары брусков; ибо, если мы вынуждены соединять вместе много пар брусков, их концы, которыми мы натираем, будут иметь слишком большую протяженность и магнитная субстанция, которая через них выходит, будет мешать себе самой направиться вдоль натираемого бруска, тем более что она входит в брусок перпендикулярно, а ей необходимо изменить это направление на горизонтальное.

Чтобы облегчить эту перемену направления, нужно, чтобы магнитная субстанция выходила на небольшом пространстве и чтобы ее направление в этот момент не очень отличалось от того, которому она должна следовать внутри натираемого бруска. Я надеюсь, что здесь можно преуспеть следующим способом.

Прилагаемый рисунок изображает пять пар, MM и NN , соединенных вместе, но не в виде циркуля. Наверху имеется планка CD из мягкого железа, чтобы замкнуть вихрь. Внизу я буду натирать не непосредственно концами брусков, но



с каждой стороны заключу эти концы в ножку из мягкого железа, закрепив ножки несколькими винтами O . Каждая внизу изгибается в сторону A и B соответственно, чтобы направление магнитной субстанции, которая свободно выходит через эти ножки, весьма приблизилось к горизонтальному и чтобы в натираемом бруске EF ей не нужно было сильно изменять свое направление. Я нисколько не сомневаюсь, что благодаря этим ножкам брусок EF получит значительно большую магнитную силу, чем если бы его натирали непосредственно концами брусков, толщина и вертикальное направление которых, естественно, не способству-

ют образованию магнитных канальцев в бруске EF ; кроме того, если пользоваться этим методом, можно сближать или раздвигать оконечности ножек A и B по нашему желанию.

Наконец, я должен не забыть отметить, что, когда эти бруски теряют со временем свою магнитную силу, ее легко восстановить посредством таких же действий.

1 декабря 1761 г.

Письмо 186

Об изготовлении искусственных магнитов в форме подковы

Если кто-нибудь хочет провести опыты с магнитными явлениями, он должен иметь большое количество намагниченных брусков, от самых маленьких до самых больших, каждый из которых может рассматриваться как самостоятельный магнит, ибо у него есть два полюса — северный и южный.

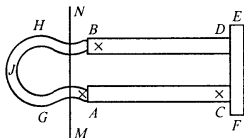
В. В. найдет весьма примечательным, что, используя очень небольшую магнитную силу, какую предоставляет нам крошечный природный магнит или каминные щипцы, слегка намагнитившиеся с течением времени, мы можем увеличивать эту силу все более, так что в конце концов получаем очень большие стальные полосы, наделенные магнитной силой в самой высшей степени, на какую они только способны. Было бы излишним добавлять, что этим методом можно делать самые лучшие магнитные стрелки, не только намного

крупнее, чем обычные, но и изготовленные из самой закаленной стали, а это делает их более долговечными.

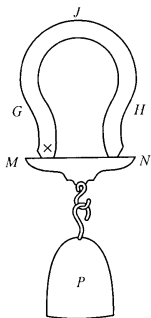
Я еще расскажу немного о фабрике искусственных магнитов, которые по большей части, как В. В. несомненно вспомнит, имеют форму подковы. Эти искусственные магниты во всех обстоятельствах оказывают нам такие же услуги, что и природные, и, кроме того, если придавать им достаточно большие размеры, дают нам возможность обладать самыми сильными магнитами. Их делают из хорошо закаленной стали, а форма подковы представляется наиболее способствующей поддержанию вихря. После того как рабочий сделает предмет такой формы, заготовку наделяют магнитной силой, наибольшей, какую она в состоянии воспринять, пользуясь намагниченными полосами, устройство которых я описал. Нетрудно понять, что, чем крупнее такой магнит, тем больших размеров должны быть полосы, употребляемые для намагничивания, и это главная причина, почему нужно иметь в своем распоряжении полосы всех размеров.

Итак, чтобы намагнитить такую подкову *HJG*, которая должна быть сделана из хорошо закаленной стали, на стол кладут пару намагниченных полос *AC* и *BD* вместе с якорями из мягкого железа, приложенными с двух сторон; из них на рисунке изображен только один якорь *EF*, а другой был удален, когда к полосам прикладывали подкову, как это показано на рисунке. Теперь магнитная субстанция, движущаяся по полосам, будет пытаться пройти через подкову, но закаленная сталь слишком тверда, и магнитная субстанция не сможет выстроить поры подковы в ряды и проложить себе дорогу. Поэтому нужно прибегнуть к тому же средству, которое применяют, чтобы намагнитить полосы. Берут «циркуль», составленный из какой-нибудь другой пары намагниченных полос, и водят им по подкове, как было описано ранее; полюса «циркуля» должны соответствовать полюсам подковы. Таким способом в ней будут проложены магнитные каналцы, и тончайшая субстанция намагниченных полос, двигаясь через подкову, создаст магнитный вихрь. Однако при этом надлежит тщательно остерегаться, чтобы ножки циркуля, когда ими водят по подкове, не касались оконечностей полос *A* и *B*. Это нарушило бы движение потока магнитной субстанции, которая тут же ринулась бы из полос в ножки «циркуля»; иными словами, вихри полос и «циркуля» стали бы мешать один другому.

После этих операций подкова приобретет большую магнитную силу, поскольку через нее пойдет очень обильный магнитный поток; теперь остается только отделить подкову от полос, не нарушив потока. Если оторвать ее резко, магнитный вихрь распадется, и наш искусственный магнит сохранит лишь очень малую часть его силы. Это обстоятельство тоже проливает свет на природу магнетизма. Ибо, поскольку магнитные каналцы сохраняются лишь до тех пор, пока по ним движется магнитная субстанция, мы делаем из этого вывод,



что мельчайшие частицы, поры которых формируют канальцы, находятся в таком состоянии вынужденно; оно поддерживается лишь до тех пор, пока на них воздействует сила вихря, а как только он прекращается, эти частицы благодаря своей упругости в той или иной мере изменяют свое положение, и магнитные канальцы от этого тут же теряют свою непрерывность и распадаются. Мы видим это очень четко на примере мягкого железа, поры которого моментально укладываются в ряды при приближении магнитного вихря, но они почти совсем не могут сохранить магнитную силу после того, как железо уберут из вихря. Это убедительно доказывает, что поры железа легко подвижны и в то же время обладают упругостью, которая сразу же изменяет их положение, как только прекращается действие магнитной силы. Только спустя много времени некоторые поры закрепляются в том положении, которое было им навязано магнитной силой; чаще всего это происходит в железных предметах, долгое время подвергавшихся воздействию земного вихря. У стали поры значительно менее податливы и более стойко сохраняют положение, которое они были вы-



нуждены занять; все же и они претерпевают некоторое расстройство после того, как на них прекращает действовать сила, однако расстройство это тем меньше, чем тверже сталь. Именно поэтому искусственные магниты необходимо делать из очень хорошо закаленной стали; если бы их делали из железа, они приобретали бы весьма значительную магнитную силу сразу же после контакта с намагниченными полосами, но вся их сила исчезала бы в тот самый момент, как магнит отнимут от полосы. Исходя из этого нужно принимать меры предосторожности, отнимая от полос магниты, сделанные из хорошо закаленной стали. Прежде чем их отделить, прикладывают якоря из мягкого железа по линии MN (на рисунке), остерегаясь, чтобы якорь не коснулся полос; это испортило бы все и вынудило бы нас начать весь процесс сначала. Если же приложить якорь, то значительная часть магнитной субстанции, двигающейся по магниту GHI , пойдет через якорь и создаст самостоятельный вихрь, который сохранится и после разделения.

Затем якорь медленно сдвигают по ножкам магнита до конца, как это видно на прилагаемом рисунке, и в таком положении оставляют на некоторое время, чтобы вихрь установился и укрепился. К якорю подвешивают груз P , который можно изо дня в день увеличивать. Нетрудно понять, что якорь должен быть так подогнан, чтобы он идеально соприкасался с ножками магнита.

Письмо 187

*О диоптрике; об инструментах,
которые она дает нам для усиления нашего зрения.
О телескопах и микроскопах. О разных формах,
которые придают стеклам или линзам*

Я надеюсь, что чудеса диоптрики окажутся темой, достойной внимания В. В. Благодаря диоптрике мы имеем два рода инструментов, составленных из стекол; эти инструменты усиливают наше зрение и позволяют видеть объекты, ускользающие от невооруженного глаза.

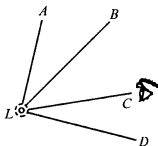
Наше зрение нуждается в помощи в двух случаях: во-первых, когда объекты находятся от нас слишком далеко, чтобы мы могли отчетливо разглядеть их; таковы небесные тела, и самые важные открытия в этой области были сделаны при помощи оптических инструментов. Например, В. В. вспомнит, наверное, то, что я говорил о спутниках Юпитера, которые дают нам возможность определять долготу места. Они видны только в хорошую зрительную трубу,¹ а чтобы увидеть спутники Сатурна,² требуется еще лучшая. Кроме того, и на поверхности Земли есть объекты настолько удаленные, что их можно увидеть и хорошо рассмотреть только при помощи зрительных труб, которые являют нам эти объекты такими, как если бы мы смотрели на них с близкого расстояния. Поэтому зрительные трубы или оптические инструменты, которыми пользуются, чтобы наблюдать отдаленные предметы, называют *телескопами* или *подзорными трубами*.

Другой случай, когда наше зрение нуждается в помощи, — это если объекты, хотя и близкие к нам, слишком малы, чтобы мы могли разглядеть их детали. Например, если бы мы захотели рассмотреть все части ноги мухи или какого-нибудь еще более мелкого насекомого; если бы мы стали изучать мельчайшие структуры нашего тела, такие как крошечные волокна наших мышц или нервов, — мы не могли бы преуспеть в этом без помощи особого рода приборов, которые называют *микроскопами*. Если смотреть в микроскоп, объект предстает перед нами как будто он в сто или даже в тысячу раз крупнее, чем на самом деле.³

Итак, телескопы и микроскопы — два рода приборов, посредством которых диоптрика возмещает недостаточность нашего зрения. Эти приборы были изобретены всего лишь несколько веков тому назад,⁴ и только после этого были сделаны наиболее важные открытия как в астрономии — при помощи телескопов и подзорных труб, — так и в физике при помощи микроскопов.⁵

Все эти подобные чуду явления творит всего лишь особая форма, которую придают кускам стекла, а также удачные сочетания двух или нескольких таких стекол, называемых *линзами*. *Диоптрика* — это наука об основах этих явлений; В. В., должно быть, вспомнит, что диоптрика занимается главным образом тем, как движутся лучи света, переходя из одной прозрачной среды в другую,

обладающую другими свойствами, например из воздуха в стекло или в воду или, наоборот, из воды или стекла — в воздух.



Пока лучи распространяются в одной среде, они движутся по прямым линиям LA , LB , LC , LD , проведенным из светящейся точки L , откуда эти лучи исходят. Когда они встречаются на своем пути глаз — допустим, в точке C , — они проникают в него и рисуют в нем изображение объекта, из которого они вышли. В этом случае зрение называют «простым» или «естественным», и оно представляет нам объекты такими, каковы они на самом деле. Наука, которая объясняет нам принципы такого зрения, называется *оптикой*.

Но если лучи, прежде чем войти в глаз, отражаются от какой-нибудь хорошо полированной поверхности, например от зеркала, наше зрение уже не может считаться естественным, потому что в этом случае мы видим объекты иначе и расположенными не там, где они на самом деле находятся. Наука, объясняющая основы такого зрения, когда мы наблюдаем лучи отраженными, называется *катоптрикой*. Она тоже доставляет нам приборы, способные увеличить дальность нашего зрения; В. В. известны особого рода инструменты, которые посредством одного или двух зеркал оказывают нам такие же услуги, что и зрительные трубы, составленные из линз. Это — снабженные зеркалами инструменты, которые называют телескопами; однако чтобы отличать их от обычных зрительных труб, в которых есть только линзы, их следовало бы называть катоптрическими, или отражательными, телескопами, или рефлекторами. Так было бы во всяком случае точнее, ибо термин «телескоп» употреблялся еще до того, как были изобретены зеркальные инструменты, и означал в те времена то же, что и зрительная труба.

Я предполагаю рассказать В. В. только о диоптрических инструментах. Как я уже имел честь сообщить, такие инструменты бывают двух родов — это телескопы, или зрительные трубы, и микроскопы. Для тех и для других используют разнообразные линзы различной формы; я расскажу о разновидностях таких линз, среди которых следует в первую очередь выделить три основные — соответственно той форме, которую придают поверхности стекла.

Первая из этих фигур — *плоская*; поверхность стекла в этом случае плоская, как у обычного зеркала. Если взять, например, кусок зеркала и удалить с него амальгаму с задней поверхности, то получим стекло, у которого обе поверхности плоские и повсюду одинаковой толщины.

Другая форма, которую можно придать поверхности стекла, — *выпуклая*. В этом случае стекло более приподнято к середине, нежели с краев.

Наконец, третья фигура — *вогнутая*; в этом случае стекло более вдавлено в середине, нежели с краев.

Из этих трех конфигураций, что можно придать поверхности стекла, получаются следующие шесть разновидностей стекол:

I. Стекло *плоско-плоское*; это такое стекло, у которого обе поверхности — плоские.

II. Стекло *плоско-выпуклое* имеет одну поверхность плоскую, а другую — выпуклую.

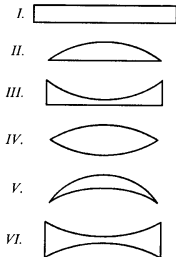
III. Стекло *плоско-вогнутое* имеет одну плоскую поверхность, а другую — вогнутую.

IV. Стекло *выпукло-выпуклое*, или *двояковыпуклое*, — это такое, у которого обе поверхности — выпуклые.

V. *Выпукло-вогнутое* стекло имеет одну поверхность выпуклую, а другую — вогнутую.

VI. Наконец, у *вогнуто-вогнутого*, или *двояковогнутого*, стекла обе поверхности вогнутые.

Можно отметить, что на прилагаемых рисунках изображены сечения этих стекол, или, иначе, — линз.



8 декабря 1761 г.

Письмо 188

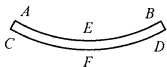
О различии линз

по кривизне их выпуклых и вогнутых поверхностей.

Деление линз на три класса

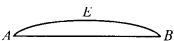
Из того, что я написал выше о выпуклых и вогнутых поверхностях линз, В. В. без труда поймет, что можно получить бесконечное разнообразие линз, поскольку как выпуклость, так и вогнутость может быть большей или меньшей. Что касается плоских поверхностей, то они бывают одного только вида, ибо плоская поверхность может быть только плоской. Выпуклая же поверхность может рассматриваться как часть сферы, и в зависимости от того, короче или длиннее радиус (или диаметр) этой сферы, мера выпуклости будет различной. Или, иначе: поскольку мы изображаем эти линзы на бумаге в виде дуг окружностей, то в зависимости от размеров этих окружностей получается бесконечное число линз, различающихся степенью выпуклости или вогнутости своих поверхностей.

Когда вытачивают линзы и полируют их, то прилагают всевозможное старание к тому, чтобы фигура их поверхности была в точности сферической, т. е. соответствовала поверхности шара. Для этой цели используют металлические чашечки, выточенные на токарном станке по сферической поверхности как снаружи, так и изнутри.



Пусть $AEBDFC$ будет сечением такой чашечки; каждая из ее поверхностей AEB и CFD может иметь свой собственный радиус. Когда кусок стекла шлифуют о вогнутую поверхность AEB этой чашечки,

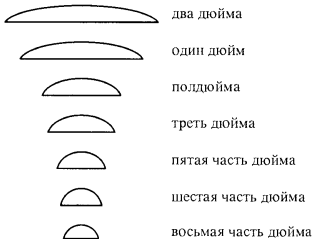
стекло становится выпуклым; однако, если его шлифуют о выпуклую поверхность CFD , оно становится вогнутым. Шлифуя стекло о чашечку, сначала пользуются песком, пока оно не примет нужную форму, а для окончательной полировки пользуются трепелом.¹



Чтобы получить точные сведения о форме поверхностей линзы, достаточно знать радиус поверхности чашечки, на которой вытачивалась эта линза, ибо истинная мера как выпуклости, так и вогнутости по-

верхностей — это радиус окружности или сферы, которые этой поверхности соответствуют и частью которых она является. Таким образом, когда я говорю, что радиус выпуклой поверхности AEB равен трем дюймам, это нужно понимать так, что AEB — дуга окружности, описанной радиусом в три дюйма, в то время как другая сторона AB — плоская.

Чтобы еще лучше представить В. В. различия между выпуклыми поверхностями, зависящие от того, насколько велики их радиусы, я изображу здесь фигуры, обладающие выпуклостью разной степени:



Из этого видно, что, чем меньше радиус, тем сильнее искривлена поверхность, тем отличнее она от плоской. Напротив, чем длиннее радиус, тем более поверхность приближается к плоскости, а дуга окружности — к прямой линии. Если бы я сделал радиус еще большим, кривизна дуги стала бы почти незаметной. Она едва различима у дуги MN , радиус которой равен 6 дюймам или половине фута, а если бы радиус был в десять или в сто раз длиннее, кривизна стала бы вовсе неуловимой для глаза.

Однако с точки зрения диоптрики это не так, и я буду иметь честь показать В. В. в дальнейшем, что, если радиус равен ста футам или даже тысяче футов и

кривизны мы различить не можем, ее влияние остается все же весьма ощутимым. В самом деле, для того чтобы поверхность стала совершенно плоской, нужно, чтобы радиус был бесконечно большим. Из этого В. В. может сделать вывод, что плоская поверхность может рассматриваться как выпуклая, радиус которой равен бесконечности, или же как вогнутая с радиусом, тоже равным бесконечности. Именно здесь свойство выпуклости и свойство вогнутости как бы смыкаются, так что плоская поверхность — промежуточная между ними; по ней проходит граница между выпуклостью и вогнутостью. Однако чем меньше радиус, тем больше и заметнее становятся выпуклость и вогнутость; поэтому говорят, что выпуклость или вогнутость тем больше, чем меньше радиус, являющийся ее мерой.

Впрочем, сколь бы ни было велико разнообразие линз в зависимости от того, плоские у них поверхности, выпуклые или вогнутые, и несмотря на бесконечное разнообразие эффектов преломления, производимых ими, все линзы можно тем не менее объединить в три основных типа — вот они.



Первый тип включает в себя стекла, имеющие всюду одинаковую толщину; их поверхности могут быть плоскими и параллельными друг другу, или одна из них выпуклой, а другая вогнутой, но в этом случае поверхности — концентрические, т. е. описаны из одного центра, так что толщина стекла всюду остается одинаковой.

О таких стеклах следует заметить, что они никак не меняют вид предметов, на которые мы смотрим через эти стекла, — как если бы между нашими глазами и объектом не было ничего. Поэтому такие стекла не находят никакого применения в диоптрике. Не то чтобы лучи, входящие в такие стекла, не испытывали никакого преломления, но преломление, испытанное ими при входе, полностью выправляется на выходе, так что лучи, выйдя из стекла, возвращаются на те же направления, по которым они двигались до того, как проникли в стекло. Поэтому главным объектом диоптрики являются стекла двух других типов — благодаря создаваемым ими эффектам.

Ко второму типу относятся линзы более толстые в центре, нежели по краям:



плоско-выпуклая



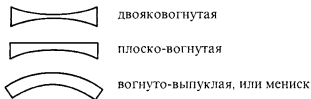
двояковыпуклая



выпукло-вогнутая, или мениск

Создаваемый ими эффект одинаков, если избыток толщины в центре над толщиной по краям находится в одинаковом отношении к размерам линзы. Обычно все линзы, относящиеся к этому типу, называют *выпуклыми*, поскольку выпуклость у них преобладает, хотя в некоторых случаях одна из поверхностей может быть плоской и даже вогнутой.

Третий тип — это линзы более толстые по краям, чем у центра:



Все эти линзы создают одинаковый эффект, величина которого зависит от избытка толщины у краев над толщиной в центре. Поскольку у всех линз, относящихся к третьему типу, преобладает свойство вогнутости, их называют просто *вогнутыми*. Необходимо отличать их от линз второго типа, т. е. выпуклых.

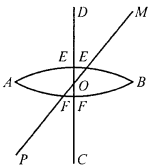
Именно о линзах двух последних типов я собираюсь беседовать с В. В. в моих последующих письмах и описать преломляющие эффекты этих линз.

12 декабря 1761 г.

Письмо 189

О действии выпуклых линз

Чтобы объяснить В. В., как влияют линзы, выпуклые и вогнутые, на то, какими мы видим предметы, нужно отдельно рассмотреть два случая: первый, когда объект сильно удален от линзы, и другой — когда он удален незначительно.



Однако прежде чем пускаться в эти разъяснения, я должен сказать несколько слов о том, что называют осью линзы. Поскольку обе поверхности линзы представлены дугами окружностей, достаточно провести прямую линию через центры этих окружностей — эта линия называется осью линзы. На прилагаемом рисунке, изображающем линзу AB , центр дуги AEB находится в C , центр дуги AFB — в D , а прямая CD будет осью этой линзы. Нетрудно увидеть, что эта ось проходит через центр линзы. То же получается, если поверхности линз — вогнутые.

Если же одна из них плоская, то ось будет ей перпендикулярна и пройдет через центр противоположной поверхности.

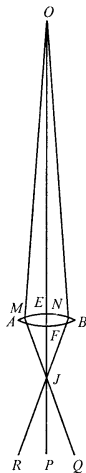
Таким образом, мы видим, что ось пересекает по перпендикуляру обе поверхности, и поэтому луч света, приходящий по тому же направлению, не

испытывает никакого преломления, поскольку лучи, переходящие из одной среды в другую, меняют свое направление, т. е. преломляются только в том случае, если они входят в новую среду не перпендикулярно.

Можно также доказать, что все другие лучи, проходящие через центр O линзы, не испытывают никакого преломления, или, вернее, они выходят из линзы параллельно самим себе.

Чтобы понять причину этого, нужно только принять во внимание, что в точках E и F обе поверхности линзы параллельны друг другу, так как угол MEB , составленный лучом ME с дугой EB окружности или с касательной к этой окружности в точке E , очевидным образом равен углу PFA , образованному продолжением EF того же луча с дугой AF окружности или с касательной к этой окружности в точке F . В. В. припомнит, наверное, что такие два угла называются накрестлежащими; доказано, что если накрестлежащие углы равны, то прямые параллельны. Следовательно, касательные в точках E и F параллельны друг другу, и получается, что луч $MEFP$ как бы проходит через стекло, поверхности которого параллельны друг другу; а мы видели выше, что лучи, проходя через такое стекло, не изменяют своего направления.

Отметив это, рассмотрим теперь выпуклую линзу AB , осью которой является прямая $OEFP$, и предположим, что на очень большом расстоянии от линзы на ее оси находится некий предмет или светящаяся точка O , испускающая лучи во всех направлениях. Среди лучей будут и такие, что пройдут через нашу линзу AB , например лучи OM , OE и ON . Из них центральный луч OE не испытает никакого преломления, но продолжит свой путь через линзу, следуя направлению EF . Два других луча, OM и ON , проходя через края линзы, преломятся при входе и при выходе так, что в некоторой точке J они пересекутся с осью, а затем продолжат свой путь в направлениях JQ и JR . Можно также доказать, что все другие лучи, которые падают на линзу между M и N , преломятся таким образом, что они сойдутся на оси в той же самой точке J . Следовательно, лучи, которые, если бы не была подставлена линза, двигались бы прямолинейно по продолжениям прямых OM и ON , после преломления пойдут по другим направлениям, в точности как если бы они исходили из точки J ; если бы где-нибудь в P был расположен глаз наблюдателя, эти лучи воздействовали бы на него точно так, как если бы светящаяся точка и в самом деле находилась в пункте J , хотя это совершенно не соответствует действительности. Пусть В. В. предположит на минуту, что в точке J помещается реальный объект, который благодаря исходящим от него лучам будет виден глазу, находящемуся в P , таким же, каким этот глаз сейчас видит предмет в O благодаря лучам, преломленным линзой. По этой причине, если в J имеется изображение предмета O , т. е. если



линза представляет нам в этой точке предмет O , можно сказать, переносит его в точку J , то объект нашего зрения — уже не точка O ; скорее ее изображение, представленное в J , является непосредственным объектом зрения.

Итак, в результате действия линзы происходит весьма существенная перемена: отдаленный объект O вдруг мгновенно переносится в J ; теперь глаз получает совсем иное впечатление, чем если бы линзу убрали, и глаз увидел бы предмет O непосредственно. Пусть В. В. представит себе, что в O находится звезда. Поскольку мы предполагаем, что точка O чрезвычайно удалена от нас, линза представит нам в J изображение этой звезды, но до этого изображения нельзя дотронуться, оно на самом деле нереально, поскольку в точке J ничего нет в действительности — кроме того, что лучи, вышедшие из точки O , соединились в J после того, как преломились в линзе. Также не следует думать, что звезда покажется нам такой же, как если бы объект, т. е. эта звезда, в самом деле находилась в J . Действительно, разве могло бы небесное тело, во много тысяч раз превосходящее размерами Землю, находиться в J ? Оно в этом случае воздействовало бы на все наши органы чувств совершенно иначе. Поэтому нужно твердо усвоить, что это всего лишь изображение, представленное в J , более или менее сходное с изображением звезды на глазном дне или же с изображением, которое мы видим в зеркале; а в свойствах зеркала нет ничего паразитального.

15 декабря 1761 г.

Письмо 190

На ту же тему и о фокусном расстоянии выпуклых линз

В этом письме я опишу В. В. действие выпуклых линз, т. е. таких, у которых толщина в центре больше, чем у краев. Все сводится к тому, чтобы рассчитать, как изменяется направление лучей при прохождении через такую линзу. Чтобы ясно показать, как это делают, нужно раздельно рассмотреть два случая: один, когда объект очень далеко от линзы, и другой — когда он достаточно близко. Я рассмотрю сначала первый случай, когда объект чрезвычайно удален от линзы.

На рисунке изображена выпуклая линза MN , а прямая линия $OABJS$ — ее ось, проходящая перпендикулярно через середину линзы. Заметим попутно, что это свойство оси любой линзы — проходить перпендикулярно через центр линзы — дает нам наиболее наглядное представление об этой оси. Предположим теперь, что на этой оси, где-то в O , находится некий предмет OP , который я изобразил здесь прямой чертою — независимо от того, какую форму он мог бы иметь на самом деле. Каждая точка этого предмета испускает лучи во всех направлениях, но здесь пойдет речь только о тех, что попадают на линзу.

Рассмотрим сначала те лучи, которые идут из точки O , расположенной на самой оптической оси линзы. На чертеже изображены три таких луча — OA , OM и ON , из которых первый (OA), проходящий через центр линзы, направления не меняет и по выходе из линзы продолжает двигаться по направлению BJS , совпадающему с первоначальным, т. е. по оси линзы. Однако два других луча, OM и ON , преломляются как при входе, так и при выходе из линзы, благодаря чему они отклоняются от своего первоначального направления таким образом, что в некоторой точке J пересекутся с осью и будут продолжать двигаться далее по своим новым направлениям — по прямым MJQ и NJR ; так что в последующем, когда они попадут в глаз, то произведут такое же действие, как если бы точка O в самом деле находилась в J — поскольку направление этих лучей именно таково. Поэтому говорят, что выпуклая линза переносит объект из O в J , но чтобы отличать эту точку J от истинной точки O , точку J называют изображением точки O , которую в свою очередь именуют объектом.



Эта точка J весьма примечательна; если объект O очень удален, его изображение в этой точке называют очагом или фокусом линзы; я объясню В. В., почему. Если на месте объекта O находится Солнце, все его лучи, падающие на линзу, собираются в точке J ;¹ так как они очень сильны и обладают способностью греть, то естественно, что происходящая в J встреча стольких лучей должна создавать там сильный жар, который может сжечь горючие предметы, помещаемые в J . Поэтому точку, в которой сосредоточивается такое количество теплоты, называют очагом, или фокусом. В случае выпуклых линз уместность этого термина очевидна. По той же причине выпуклые линзы называют зажигательными стеклами; их действие несомненно хорошо знакомо В. В. Я отмечу только, что свойством собирать солнечные лучи в некоторой точке, называемой фокусом, обладают все выпуклые линзы. Точно так же они собирают в одну точку лучи Луны, звезд и любых очень далеких предметов; и хотя они не могут произвести заметное количество теплоты, термином «очаг» («фокус») пользуются и в этом случае. Таким образом, фокус линзы — это не что иное, как место, в котором оказывается изображение очень удаленных объектов. К этому следует добавить одно условие: объекты эти должны располагаться на самой оси линзы, так как если они находятся не на оси, их изображения также будут в стороне от оси.

У меня будет случай поговорить об этом позднее.

Впрочем, стоит сделать еще несколько замечаний, касающихся фокуса.

1. Поскольку точка O (т. е. объект) бесконечно удалена от нас, лучи OM , OA и ON могут считаться параллельными между собой и по той же причине — параллельными оси линзы.

2. Поэтому фокус J — это точка позади линзы, где лучи, падающие на линзу и параллельные ее оси, собираются вместе благодаря преломлению линзы.

3. Фокус линзы и место, где находится изображение предмета, бесконечно удаленного и лежащего на оси линзы, — это одно и то же.

4. Расстояние от линзы до точки J , т. е. расстояние BJ , называется удалением фокуса линзы. Некоторые авторы называют его также фокусным расстоянием.

5. Каждая выпуклая линза имеет свое, ей присущее фокусное расстояние; у одних линз оно больше, у других — меньше; его нетрудно определить, подставляя линзу под солнечные лучи и наблюдая, в какой точке эти лучи соединяются.

6. У линз, образованных дугами малых окружностей, фокус находится на небольшом расстоянии позади линзы. Однако у линз, поверхности которых образованы дугами больших окружностей, фокусы удалены на большие расстояния.

7. Необходимо знать фокусное расстояние каждой выпуклой линзы, употребляемой в диоптрике; достаточно знать, где лежит ее фокус, чтобы получить представление, каких эффектов следует от нее ожидать как в зрительных трубах, или телескопах, так и в микроскопах.

8. Если мы пользуемся линзой, выпуклой с обеих сторон в одинаковой мере, так что обе ее поверхности соответствуют одной и той же окружности, — радиус этой окружности дает нам приблизительно фокусное расстояние этой линзы. Так, для того чтобы сделать зажигательное стекло, воспламеняющее на расстоянии одного фута, достаточно сделать обе его поверхности соответствующими окружности с радиусом в один фут.

9. Однако если линза плоско-выпуклая, ее фокусное расстояние примерно равно диаметру окружности, которая соответствует выпуклой поверхности.

Знание этих правил и терминов сделает нетрудным для понимания все, о чем будет речь дальше.

19 декабря 1761 г.

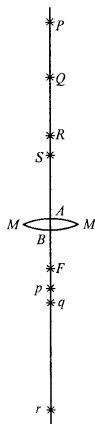
Письмо 191

О расстоянии до изображения объектов

Напомнив, что изображение бесконечно удаленного объекта создается линзой в ее фокусе, если этот объект находится на оси линзы, я перехожу к объектам более близким, но по-прежнему расположенным на оси линзы; отмечу для начала, что чем более объект приближается к линзе, тем более отдалится его изображение.

Предположим, что F — это фокус линзы MM ; изображение объекта, лежащего на бесконечном расстоянии впереди линзы (на рисунке — вверх), будет находиться в F . Если приблизить объект к линзе и помещать его последовательно в P, Q, R , его изображение будет перемещаться соответственно в точки p, q, r , более удаленные от линзы, чем ее фокус; иными словами, если AP — расстояние до объекта, то Bp будет расстоянием до изображения; если расстояние до объекта станет равным AQ , то расстояние до изображения будет равно Bq , а расстояние до изображения Br будет соответствовать расстоянию до объекта AR .

Имеется правило, по которому можно без труда рассчитать расстояние, где находится изображение позади линзы, для объекта, лежащего на любом расстоянии впереди нее. Однако я не хочу наскучить В. В. сухим изложением этого правила. Довольно будет отметить, что, чем более мы будем уменьшать расстояние до объекта, находящегося перед линзой, тем большим становится расстояние до изображения позади линзы. Добавлю еще пример с выпуклой линзой, имеющей фокусное расстояние, равное 6 дюймам; иными словами, у этой линзы, если расстояние до объекта бесконечно велико, то до изображения оно будет в точности равно 6 дюймам. Если начать приближать объект к линзе, изображение будет от нее удаляться в соответствии с таблицей.



Расстояние до объекта	Расстояние до изображения
Бесконечность	6 дюймов
42 дюйма	7
24	8
18	9
15	10
12	12
10	15
9	18
8	24
7	42
6	Бесконечность

Таким образом, если объект будет находиться на расстоянии 42 дюймов от линзы, изображение получится в 7 дюймах от нее, т. е. в одном дюйме за фокусом. Если же объект находится на расстоянии 24 дюймов, изображение будет в 8 дюймах от линзы, т. е. в двух дюймах за фокусом, и т. д.

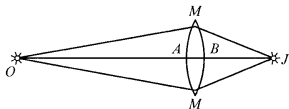
Хотя эти числа соответствуют только одной определенной линзе, у которой фокусное расстояние равно 6 дюймам, можно, однако, из этих данных вывести некоторые общие правила.

1. Если расстояние до объекта бесконечно велико, изображение попадает точно в фокус.

2. Если расстояние до объекта вдвое превышает фокусное расстояние, то расстояние до изображения тоже будет вдвое больше фокусного, т. е. объект и изображение будут одинаково удалены от линзы. В примере, приведенном выше, когда расстояние до объекта было равно 12 дюймам, расстояние до изображения тоже равнялось 12 дюймам.

3. Если объект приближают к линзе на расстояние, в точности равное фокусному (в нашем примере это 6 дюймов), — тогда изображение отодвигается в бесконечность.

4. Таким образом, мы видим, что вообще расстояние до объекта и расстояние до изображения находятся в обратном отношении, т. е. если поместить объект на место, занимаемое его изображением, то изображение окажется на месте, которое занимает объект.



5. Следовательно, если линза MM собирает в J лучи, исходящие из точки O , то эта же самая линза соберет в O лучи, исходящие из точки J .

6. Это — следствия главного принципа диоптрики: как бы ни преломлялись лучи, проходя через множество преломляющих сред, они всегда могут вернуться на свое прежнее направление.

Вышеизложенное правило — одно из важнейших в науке о линзах. Так, если я знаю, например, что линза создала на расстоянии 8 дюймов изображение предмета, удаленного на 24 дюйма, я могу смело заключить, что если бы объект был удален от линзы на 8 дюймов, она построила бы его изображение в 24 дюймах позади себя.

Важно также отметить, что, если расстояние до объекта равно фокусному расстоянию, изображение отодвинется в бесконечность. Это находится в полном согласии с соотношением, которое имеется между объектом и изображением.

Однако В. В., вероятно, было бы любопытно узнать, где будет находиться изображение, если еще более приблизить объект к линзе — так, чтобы расстояние до объекта оказалось меньше фокусного расстояния. Этот вопрос ставит меня в положение тем более затруднительное, что следовало бы ответить: расстояние до изображения в этом случае должно быть больше, чем бесконечность, поскольку чем более приближается объект к линзе, тем больше удаляется от нее изображение. Но если изображение уже отодвинулось на бесконечное расстояние, то как же может быть, чтобы расстояние до него

стало еще больше? Этот вопрос, несомненно, мог бы смутить философов, но математика отвечает на него без затруднений. Изображение перейдет с бесконечного расстояния на другую от линзы сторону, т. е. на ту, где находится объект; таким образом, оно появится за объектом. Каким бы странным ни казался этот ответ, он подтверждается не только рассуждениями, но и опытом, так что не приходится сомневаться в его правильности. Вырасти за пределы бесконечности — это то же самое, что перейти на другую сторону. Конечно, здесь самый настоящий парадокс.

22 декабря 1761 г.

Письмо 192

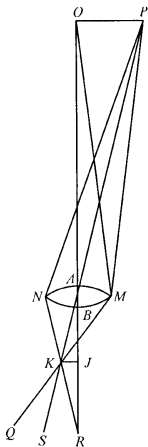
О величине этих изображений

Теперь В. В., должно быть, не сомневается в том, что любая выпуклая линза создает в том или ином месте изображения объектов, находящихся перед нею, и что в каждом случае местоположение изображения меняется в зависимости как от расстояния до объекта, так и от фокусного расстояния линзы; однако мне остается изложить еще одну важную тему: речь пойдет о размерах изображения.

Если некая линза являет нам изображения Солнца, или Луны, или звезды на расстоянии в один фут, В. В. без труда поймет, что эти изображения должны быть несравнимо меньше самих объектов. Если размеры звезды намного больше, чем вся Земля, — то как могло бы столь огромное изображение находиться на расстоянии одного фута от нас? Однако, поскольку звезда представляется нам в виде точки, изображение звезды, созданное линзой, тоже похоже на точку и, следовательно, бесконечно меньше, чем сам объект.

Следовательно, всякий раз, когда мы имеем дело с изображением, созданным линзой, нас должны интересовать две вещи: во-первых, место, где находится изображение, и, во-вторых, размеры изображения, которые могут сильно отличаться от величины объекта. Поскольку первый из этих вопросов уже освещен, я собираюсь изложить В. В. очень простое правило, следуя которому, В. В. без труда сможет судить в каждом случае, какие размеры должно иметь изображение, созданное линзой.

Пусть OP — некий объект, расположенный на оси выпуклой линзы MN . Сначала нужно определить место, где находится изображение. Оно находится в J ; точка J



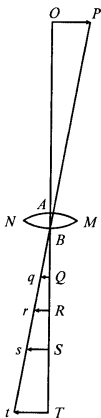
является изображением оконечности O объекта, потому что в этой точке лучи, вышедшие из точки O , встречаются благодаря преломлению в линзе. Посмотрим теперь, где будет располагаться изображение другой точки объекта — P . Для этого рассмотрим лучи PM , PA и PN , которые выходят из точки P и падают на линзу. Мы увидим, что луч PA , проходящий через центр линзы, вовсе не меняет своего направления и продолжает двигаться тем же путем по линии AKS . Именно на этой прямой, в некоторой точке K , встретятся два других луча, PM и PN , или, иначе, точка K будет изображением другой оконечности P объекта, в то время как в точке J находится изображение точки O . Из этого легко сделать вывод, что JK — изображение объекта OP , созданное линзой. Поэтому, чтобы найти размеры этого изображения после того, как уже найдена точка J , остается провести из крайней точки P объекта через центр A линзы прямую линию $PAKS$ и начертить через точку J перпендикулярно оси линию JK ; эта последняя и будет искомым изображением. Из этого очевидно, что изображение получается перевернутым; если бы линия JR была горизонтальной, а объект OP был человеком, у его изображения голова K была бы внизу, а ноги — наверху, в J .

Я добавлю следующие замечания к написанному выше.

1. Чем ближе к линзе находится изображение, тем оно мельче. Чем дальше оно от линзы, тем крупнее. Предположим, что OP — объект, находящийся перед линзой MN на ее оси; если его изображение попадет в Q , оно будет мельче, чем если бы оно попало в R , или S , или T . Поскольку линия PAT , проведенная из крайней точки P объекта через центр линзы, во всех случаях является границей изображения, на каком бы расстоянии от линзы оно ни находилось, то очевидно, что из четырех отрезков — Qq , Rr , Ss , Tt — первый (Qq) — самый короткий, а другие становятся все длиннее по мере удаления от линзы.

2. Есть один случай, когда изображение размером в точности равно объекту. Это имеет место, когда расстояние от линзы до изображения равно расстоянию от объекта до линзы, что бывает, как я уже отмечал, если расстояние до объекта AO вдвое превышает фокусное расстояние линзы. Тогда мы получим изображение Tt , а расстояние BT будет равно AO . Теперь в. в. следует рассмотреть два треугольника — OAP и TAt ; у них равны углы при вершине A , стороны AO и AT тоже равны и, кроме того, равны углы при O и T , поскольку они — прямые. Следовательно, эти два треугольника равны; поэтому сторона Tt , которая и есть изображение, равна стороне OP , которая есть объект.

3. Если бы изображение находилось вдвое дальше от линзы, чем объект, оно было бы вдвое больше объекта. Вообще во сколько раз изображение находится дальше от линзы, чем объект, во столько же раз оно будет больше объекта. Чем более приближают объект к линзе, тем



больше удаляется от нее изображение, и, следовательно, тем оно становится крупнее.

4. Противоположное этому имеет место, когда изображение ближе к линзе, чем объект. В этом случае оно во столько же раз меньше объекта, во сколько раз оно ближе к линзе. Поэтому, если бы расстояние до изображения было в 1000 раз меньшим, чем расстояние до объекта, изображение получилось бы тоже в 1000 раз меньше объекта.

5. Приложим это правило к зажигательным стеклам, которые, если подставить их солнечным лучам, создают в фокусе изображение Солнца, тот самый «очаг» — ослепительный сверкающий кружок. Этот жгущий кружок — не что иное, как изображение Солнца, созданное линзой. Теперь В. В. не станет больше удивляться малым размерам этого изображения, притом что Солнце столь чудовищно велико: ведь это изображение в фокусе во столько же раз меньше настоящего Солнца, во сколько расстояние до Солнца больше расстояния от линзы до изображения.

6. Из этого ясно, что, чем больше фокусное расстояние зажигательного стекла, тем больше сверкающий кружок, т. е. изображение Солнца в фокусе линзы; однако диаметр «очага» всегда будет примерно в 100 раз меньше фокусного расстояния линзы.

В дальнейшем я буду иметь честь рассказать о разнообразных применениях выпуклых стекол; эти применения столь любопытны, что в высшей степени заслуживают внимания В. В.

26 декабря 1761 г.

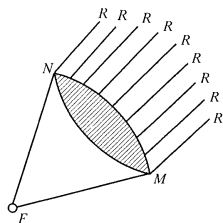
Письмо 193

О зажигательных стеклах

Первое из применений выпуклых линз — это использование их в качестве зажигательных стекол, действие которых должно казаться совершенно поразительным — даже тем, кто немного знаком с физикой. В самом деле, кто поверил бы, что одно только изображение Солнца способно произвести жар столь удивительной силы? Однако В. В. не будет более этому удивляться, если соизволит уделить внимание следующим рассуждениям.

1. Пусть MN — зажигательное стекло, на поверхность которого падают солнечные лучи R, R, R ; они преломляются таким образом, что создают в F небольшой сверкающий кружок, являющийся изображением Солнца. Это изображение тем меньше, чем оно ближе к линзе.

2. Все лучи Солнца, падающие на поверхность линзы, сходятся на малой площади фокуса F , и поэтому их действие должно быть во столько раз большим, во сколько раз поверхность стекла больше фокуса, т. е. изображения Солнца. В этом случае говорят, что лучи, которые были рассредо-



точены по всей поверхности линзы, сконцентрировались на малой площади F .

3. Солнечные же лучи обладают некоторой теплотой; поэтому в фокусе они должны проявить эту свою способность весьма ощутимым образом. Можно даже оценить, во сколько раз эта теплота должна превосходить естественную теплоту солнечных лучей: достаточно посмотреть, во сколько раз площадь линзы больше фокуса.

4. Если бы линза была не больше фокуса, теплота не превосходила бы естественную. Из этого следует сделать вывод, что, для того

чтобы действие зажигательного стекла было сильным, ему недостаточно быть выпуклым и создавать изображение Солнца; нужно еще, чтобы у него была большая поверхность, во много раз превышающая площадь фокуса, который тем меньше, чем ближе он к линзе.

5. Самое замечательное зажигательное стекло находится во Франции, его ширина — 3 фута; считается, что его поверхность почти в 2000 раз больше фокуса или создаваемого этим стеклом изображения Солнца. В фокусе такой линзы жар должен быть в 2000 раз больше того, который мы испытываем, находясь под лучами Солнца. Поэтому эффекты, производимые этой линзой, поразительны: любой деревянный предмет загорается сразу же, металлы плавятся за считанные минуты. Вообще самое жаркое пламя, какое только мы можем получить, не идет ни в какое сравнение с яростным жаром фокуса этой линзы.

6. Полагают, что температура кипящей воды примерно в три раза больше той, которую мы чувствуем от солнечных лучей летом, или (что сводится к тому же) температура кипящей воды в три раза больше естественной температуры крови в человеческом теле. Но для того чтобы расплавить свинец нужна температура в три раза большая, нежели та, при которой кипит вода, а чтобы расплавить медь, нужна температура еще в три раза выше. Золото требует еще более сильного жара. Из этого следует, что температура в 100 раз большая, чем у нашей крови, уже способна расплавить золото.¹ Во сколько же раз температура, в 2000 раз превышающая температуру нашей крови, должна быть жарче нашего обычного огня?

7. Но как получается, что лучи Солнца, собранные в фокусе зажигательного стекла, производят там столь поразительное действие? Это очень трудный вопрос, по поводу которого мнения философов резко разделились. Те, кто утверждает, что лучи, эта материальная эманация Солнца, выбрасывались с той огромной скоростью, о которой я имел честь писать В. В., — те не затрудняются с объяснением. Они говорят лишь, что субстанция лучей, яростно ударяя в предметы, разбивает и полностью разрушает мельчайшие частицы вещества. Но это мнение не должно более приниматься здравомыслящими физиками.

8. Другое мнение, когда природу света полагают в колебаниях эфира, представляется малопригодным для объяснения этих эффектов зажигательных стекол. Однако, если хорошо взвесить все обстоятельства, можно вскоре убедиться в том, что так может быть. Когда солнечные лучи падают на какой-нибудь предмет, они тем самым вызывают сотрясение, или колебательное движение, мельчайших частиц его поверхности; эти колебания в свою очередь способны породить новые лучи, которые и делают этот предмет видимым для нас. Предмет может быть освещенным, лишь поскольку его собственные частицы приведены в колебательное движение столь быстрое, что оно способно породить новые лучи в эфире.

9. Теперь понятно, что если естественные лучи Солнца достаточно сильны, чтобы вызвать колебания мельчайших частиц вещества, то эти лучи, будучи собраны в фокусе, должны привести частицы, встреченные там, в столь неистовое колебание, что их связи друг с другом полностью разрываются и сам предмет разрушается; это явление и есть огонь. Ибо если предмет — горючий, например деревянный, то разобщение его мельчайших частиц вкупе с очень быстрыми колебаниями гонит значительную часть этих частиц в воздух в виде дыма, а самые грубые частицы остаются и образуют золу. Вещества плавкие, каковы металлы, становятся жидкими вследствие разъединения их частиц; из этого можно понять, как огонь действует на предметы: он разрушает лишь связи между мельчайшими частицами вещества, которые затем приводятся им в быстрое движение.

Таков поразительный эффект зажигательных стекол, порождаемый свойствами выпуклых линз. Я буду иметь честь описать В. В. другие чудеса такого же рода.

29 декабря 1761 г.

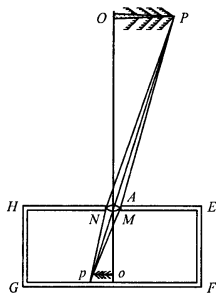
Письмо 194

О камерах-обскурах

Принеся В. В. мои самые горячие новогодние пожелания здоровья и благополучия, я продолжу нить моего рассказа.

Выпуклые линзы находят также применение в камерах-обскурах; при помощи такой линзы любые предметы, находящиеся снаружи, могут быть представлены на белой поверхности внутри камеры-обскуры в их естественном цвете, так что вся окружающая местность будет изображена с большим совершенством, чем это мог бы сделать художник. Поэтому художники пользуются этим средством, желая точно нарисовать пейзаж или какой-нибудь предмет, видимый в отдалении. Именно о камерах-обскурах я и намереваюсь беседовать с В. В.

Фигура *EFGH* изображает сечение камеры-обскуры, хорошо закрытой со всех сторон, за исключением круглого отверстия *MN* в выдвигающейся стенке.



Туда вставляют выпуклую линзу с фокусом, подобранным так, чтобы изображение наружных предметов (например, дерева OP) попадало точно на противоположную стенку FG в op . Туда, где должно появиться созданное линзой изображение, ставят белую подвижную доску или панель.

Лучи света могут входить в камеру только через отверстие MN , в которое вставлена линза; без этого отверстия в камере царил бы полная темнота.

Рассмотрим теперь точку P некоторого объекта, например верхушку нашего дерева OP . Исходящие от нее лучи PM , PA и PN упадут на линзу MN и преломятся таким образом, что соберутся снова в точке p на стенке, т. е. на белой доске, специально поставленной в этом месте. Эта точка p , следовательно, не будет получать никаких других лучей, кроме тех, что приходят из точки P . Подобным же образом любая другая точка на стенке будет получать только лучи, вышедшие из той точки объекта, которая ей соответствует; обратно: каждой точке наружного объекта будет соответствовать точка на стенке, получающая лучи единственно от «своей» точки наружного объекта. Если вынуть линзу из отверстия MN , стенка будет освещена совсем иначе, потому что тогда каждая точка объекта будет посылать свои лучи на всю площадь; таким образом, каждая точка стенки будет освещаться одновременно всеми наружными объектами, в то время как сейчас она освещается только одной точкой объекта — той, от которой она получает лучи. В. В. поймет без труда, что эффект в этом случае должен быть совсем другим, чем если бы лучи просто входили в камеру через отверстие MN .

Рассмотрим подробнее, в чем состоит это различие, и для начала предположим, что точка P объекта — зеленая. Следовательно, точка p на белой стенке будет получать от объекта P только зеленые лучи; собравшись вместе, они произведут определенное воздействие, которое нам здесь предстоит исследовать. С этой целью пусть В. В. сообразовит припомнить следующие положения, которые я имел честь изложить ранее.

1. Различные цвета отличаются друг от друга тем же, чем отличаются музыкальные тоны: каждый цвет создается некоторым определенным числом колебаний, происходящих в эфире за данный отрезок времени. Так, зеленый цвет нашей точки P соответствует определенному числу колебаний, и эта точка не стала бы более зеленой или менее, если бы колебания были более быстрыми или более медленными. Хотя мы не знаем числа колебаний, порождающих тот или иной цвет, нам, однако, вполне позволительно предположить здесь, что зеленый цвет требует 12 000 колебаний в секунду;¹ все, что мы будем

говорить об этом числе 12 000, можно будет без труда отнести и к истинному числу, каким бы оно ни оказалось.

2. Коль скоро это так, в точку p на белой стенке попадает колебательное движение, в котором 12 000 колебаний совершаются за одну секунду. Выше я отмечал, что частицы белой поверхности по своей природе способны получать колебания любого рода, более быстрые и более медленные, между тем как частицы цветной поверхности способны получать лишь колебания, совершающиеся со скоростью, которая соответствует их цвету. Следовательно, поскольку наша стенка — белая, точка p будет подвергаться колебаниям, соответствующим зеленому цвету; или, иначе, она будет колебаться 12 000 раз в секунду.

3. Затем, поскольку точка p или частица белой поверхности, находящаяся в p , колеблется подобным образом, она передает такое же движение окружающим ее частицам эфира. Это движение, распространяясь во всех направлениях, породит лучи такой же природы, т. е. зеленые лучи, подобно тому как в мире звуков — звук определенного тона, например тон C , колеблет струну, настроиваемую на этот тон, и заставляет ее откликнуться таким же звуком, без того чтобы ее кто-нибудь коснулся.

4. Итак, точка p белой стенки породит зеленые лучи, как если бы она сама была этого цвета. То, что я здесь продемонстрировал относительно точки p , будет столь же справедливо для всех других точек освещенной стенки; все будут порождать лучи и каждая — лучи того цвета, какой присущ объекту, изображение которого воспроизводит эта точка. Следовательно, каждая точка на стенке будет видна в определенном цвете, точно так же как если бы она была действительно окрашена.

5. Поэтому на стенке будут видны все цвета находящихся снаружи предметов, лучи которых проникают в камеру через линзу. Каждая отдельная точка будет того же цвета, что и объект, которому эта точка соответствует. Таким образом, на стенке мы увидим все многоцветие красок, причем цвета будут располагаться в том же порядке, в каком мы видим их на объектах, т. е. мы увидим рисунок, или, вернее, совершенно безукоризненную картину, на которой в естественном виде представлены все предметы, находящиеся вне камеры-обскуры перед линзой MN .

6. Однако на стенке все эти предметы окажутся перевернутыми, как без труда догадается В. В., вспомнив, что я писал в предыдущих письмах. Изображение комля O будет находиться в o , а верхушки P — в p . Это происходит потому, что изображение любого объекта должно находиться на стенке в том месте, куда попадает прямая линия, проведенная от объекта P через центр A линзы. Следовательно, то, что наверху, окажется внизу, а то, что слева, будет справа. Одним словом, на картине все будет перевернуто. Несмотря на это, объекты будут представлены точнее и совершеннее, чем мог бы нарисовать самый искусный художник.

7. Впрочем, В. В. заметит, что эта картина будет тем мельче самих предметов, чем короче фокус линзы. Таким образом, линзы с коротким фокусом

будут давать уменьшенное изображение, а если мы хотим, чтобы объекты получились крупно, нужно использовать линзы с более длинным фокусом, т. е. такие, которые создают изображение на большем расстоянии.

8. Чтобы рассматривать эти изображения с большим удобством, лучи перехватывают зеркалом, в котором они отражаются таким образом, что вся картина отбрасывается на горизонтальную доску. Это особенно удобно для тех, кто хотел бы срисовать получающуюся в камере картину.

2 января 1762 г.

Письмо 195

Размышления об изображениях, получаемых в камерах-обскурах

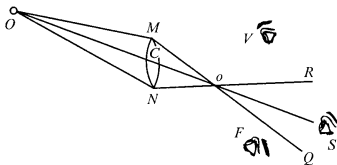
Хотя у В. В. не осталось, должно быть, никаких неясностей относительно картин, получаемых в камере-обскуре при помощи выпуклой линзы, я полагаю все же, что следующие рассуждения отнюдь не будут излишни и послужат к тому, чтобы осветить этот вопрос наиболее полно.

1. Во-первых, необходимо, чтобы камера была совершенно темной, ибо если она освещается, то белая стенка сама становится видимой. Частицы ее поверхности, уже начавшие колебаться, не могут уже испытывать воздействие тех лучей, которые собирает линза, создающая изображение наружных предметов. Однако, если камера освещена слабо, на стенке все же можно будет разглядеть что-то вроде картинки, хотя она и не столь ярка, как в идеально затемненной камере.

2. Во-вторых, необходимо отличать картину, получающуюся на белой стенке, от изображения, создаваемого линзой, о котором я говорил выше. Верно, что если подставить стенку на то самое место, где линза создает изображение объекта, это изображение совпадет с картиной, получающейся на стенке, но тем не менее природа их совершенно различна: изображение — это всего лишь призрак, реющий в воздухе фантом, видимый лишь с каких-то определенных точек, между тем как картина на стенке — это настоящая картина, на которую могут смотреть все присутствующие; ее единственный недостаток — недолговечность.

3. Чтобы лучше разъяснить это различие, нужно рассмотреть природу изображения o ; на прилагаемом рисунке оно создается выпуклой линзой MN , притом что объект находится в O . Это изображение — не что иное, как место, где лучи OM , OC , ON , идущие от объекта, собираются вместе, после того как они прошли сквозь линзу и преломились в ней. Затем каждый из них продолжает свой путь, как если бы они возникли в точке o , хотя на самом деле они возникли в O , а вовсе не в o .

4. В силу этого обстоятельства изображение o видно только глазу, находящемуся где-нибудь внутри угла RoQ , например в S , где глаз действительно



будет получать лучи, приходящие к нему из точки o . Однако, если он будет находиться вне этого угла, например в F или V , глаз ничего не увидит, потому что ни один из лучей, встретившихся в o , туда не направится. Таким образом, изображение в o весьма существенно отличается от реального объекта: его можно увидеть только из некоторых пунктов, и в этом оно сходно с тем, что нам рассказывают о призраках.

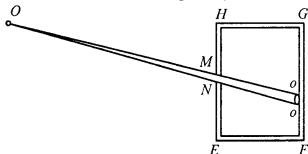
5. Однако, если поставить в o белую стенку и если ее поверхность в этой точке o действительно приходит в колебательное движение, подобное тому что колеблет самый предмет O , — тогда эта точка o на поверхности стенки сама будет порождать лучи, которые сделают ее видимой отовсюду. Вот в чем, следовательно, состоит различие между изображением предмета и его картиной, получающейся в камере-обскуре: изображение видно только в некоторых точках, а именно в тех, через которые движутся лучи, исходящие от объекта, в то время как картина, создающаяся на белой стенке, видна благодаря ее собственным лучам, порожденным колебаниями частиц ее поверхности, и, следовательно, она видна из любой точки внутри камеры-обскуры.

6. Поэтому понятно, что белую стенку совершенно обязательно ставить точно на то место, где находится изображение, построенное линзой, — для того чтобы каждая точка стенки получала только такие лучи, которые приходят от одной-единственной точки объекта; ибо если бы туда же падали и другие лучи, они испортили бы эффект первых или во всяком случае сделали бы картину расплывчатой.

7. Если бы мы убрали линзу¹ и лучи получили свободный путь в камеру-обскуру, белая стенка была бы ими освещена обычным образом и нельзя было бы увидеть ничего похожего на картину: на каждую точку стенки падали бы лучи от разных объектов и не создавали бы на ней никакого определенного изображения. Таким образом картина, которую мы видим в камере-обскуре на белой поверхности, — это эффект, создаваемый выпуклой линзой, укрепленной на передней стенке. Это она снова собирает в одну точку все лучи, пришедшие от какой-либо точки объекта.

Однако, если отверстие в передней стенке камеры-обскуры сделано очень маленьким, можно наблюдать удивительное явление: в этом случае даже при отсутствии линзы на дальней стенке можно заметить изображения наружных предметов; они даже окрашены в свои естественные цвета. Но эта картина —

очень слабая и нечеткая, а если расширить отверстие — все это зрелище полностью пропадает. Я должен объяснить причину этого явления.



На прилагаемом рисунке изображено малое отверстие MN , через которое лучи от предметов, находящихся снаружи, входят в камеру-обскуру $EFGH$. Стенка FG , лежащая напротив отверстия, — белая, чтобы она могла воспринимать воздействие самых различных лучей.

Пусть точка O обозначает объект; из множества исходящих от него лучей только лучи OM и ON , а также те, что находятся между этими двумя, могут проникнуть в камеру. Эти лучи упадут на малую площадку oo на стенке и осветят ее. Эта площадка будет тем меньшей и тем в большей степени будет приближаться к точке, чем меньше будет отверстие MN . Следовательно, если это отверстие будет очень малым, мы получим эффект, подобный описанному ранее, когда каждая точка белой стенки получала лучи лишь от одной точки объекта; поэтому и теперь появится картина, подобная той, которую создает выпуклая линза, вставленная в отверстие передней стенки камеры. Но в нашем случае, поскольку отверстие все же имеет некоторую протяженность, какой бы она ни была незначительной, каждая точка O объекта будет освещать некоторую небольшую площадку oo на стенке и приводить ее своими лучами в колебание. Поэтому будет происходить примерно то же, как если бы художник, вместо того чтобы наносить на картину точечные мазки, делал толстой кистью крупные пятна, соблюдая, однако же, рисунок и колорит. Вот на такую мазню и будет похожа наша картина на стенке. Но она будет тем отчетливей, чем меньше отверстие, через которое входят лучи.

5 января 1762 г.

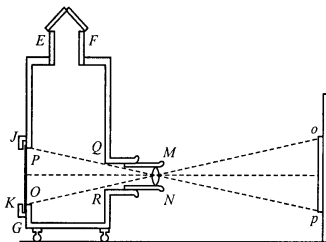
Письмо 196

О волшебных фонарях и солнечных микроскопах

Строго говоря, эффект камеры-обскуры распространяется единственно на предметы очень удаленные; однако В. В. без труда поймет, что ее можно использовать равным образом и для предметов более близких. Для этого нужно удалить белую стенку на большее расстояние от линзы в соответствии с общим

правилом, что, чем более мы приближаем объект к выпуклой линзе, тем больше удаляется от нее изображение, где должна быть установлена белая стенка. В случае же если камера не имеет должной глубины, следует взять другую линзу, с более коротким фокусом.

Поэтому можно было бы поместить вне камеры, перед отверстием, где находится выпуклая линза, какой-нибудь предмет или картину; тогда мы увидели бы ее копию в камере-обскуре, на белой стенке — или более крупную, чем оригинал, или более мелкую, в зависимости от того, насколько велико расстояние до изображения. Однако было бы более удобно, если бы этот предмет мог находиться в самой камере-обскуре, чтобы можно было его передвинуть или заменить по мере надобности. Однако здесь возникает большая трудность, которую необходимо разрешить: ведь при этом сам объект станет темным и, следовательно, не сможет создавать нужный нам эффект. Поэтому необходимо осветить объект насколько возможно ярко в самой камере-обскуре, но так, чтобы свет не мог проникнуть в камеру. Я нашел такое средство, и В. В., наверное, припомнит, что я применил его в аппарате, который я имел честь преподнести В. В. шесть лет тому назад. Теперь В. В. без труда поймет устройство этого аппарата и принципы, на которых оно основано.



Аппарат состоит из ящика, тщательно закрытого со всех сторон, и более или менее похож на рисунок, приложенный к этому письму. Задняя стенка *EG* этого ящика имеет отверстие *JK*, чтобы вставлять туда объекты — портреты или какие-нибудь другие картины *OP*, которые хотят показать. На другой стенке, напротив отверстия, имеется труба *MNQR*, в которой находится выпуклая линза *MN*. Эта труба — раздвижная, чтобы иметь возможность по желанию приближать линзу к объекту или удалять от него. Тогда, если объект *OP* будет хорошо освещен, линза будет создавать в определенном месте его изображение *op*; если подставить туда белую поверхность, на ней появится совершенная копия объекта, тем более яркая, чем ярче будет освещен сам объект.

Для этой цели я приделал к ящику два крыла по бокам, чтобы поместить в них несколько ламп с толстыми фитилями; кроме того, в каждое крыло я поставил по зеркалу, отбрасывающему свет ламп на объект OP . Наконец, наверху имеется вытяжная труба EF , через которую выходит копоть от ламп. Таково устройство этого аппарата, в котором объект может быть освещен очень сильно, притом что затемнение внутри камеры не уменьшится. Что касается пользования этим аппаратом, нужно отметить следующее.

I. Если задвинуть трубу $MNGR$, т. е. приблизить линзу MN к объекту OP , то изображение op отдалится, и тогда нужно будет отодвинуть белую стенку, чтобы получить на ней изображение. В этом случае изображение получится более крупным, и таким способом можно увеличивать изображение сколь угодно, все более приближая линзу MN к объекту OP .

II. Когда линзу удаляют от объекта, удлиняя трубу $MNQR$, расстояние до изображения становится меньше, и нужно приблизить белую стенку к линзе, чтобы изображение получилось чистым и отчетливым. Но в этом случае оно становится более мелким.

III. Ясно также, что изображение в любом случае будет перевернутым, но этот недостаток легко устранить: достаточно опрокинуть самый объект OP , поменяв местами верх и низ, и тогда изображение на белой стенке будет прямым.

IV. Еще одно существенное замечание: чем более мы будем увеличивать изображение на белой стенке, тем меньше света оно будет получать и тем оно будет темнее. Напротив, если сделать изображение маленьким, оно становится более светлым и ярким. Причина этого очевидна: весь свет идет от освещенного объекта, и чем больше будет площадь, по которой распределится этот свет, тем в большей степени он будет ослаблен; но если сосредоточить этот свет на малом пространстве, он будет более ярким и сверкающим.

V. Поэтому, чем крупнее хотят получить изображение, тем более ярким нужно сделать освещение объекта, увеличивая количество ламп в боковых крыльях аппарата или усиливая их пламя. Для небольших же изображений достаточно освещения средней силы.

Этот аппарат, описание которого я привел, называют «волшебным фонарем», чтобы отличить его от обычной камеры-обскуры, которой пользуются, чтобы получать изображения предметов очень отдаленных. Поводом, для того чтобы назвать этот аппарат «фонарем», послужила, безусловно, его форма и в особенности то, что он заключает в себе источники света. Однако эпитет «волшебный» происходит от того, что первые владельцы таких аппаратов хотели внушить народу, что здесь замешана какая-то магия или колдовство.

Обычные волшебные фонари устроены не так, как описанный выше, и при их посредстве показывают только фигуры, нарисованные на стекле; между тем тот, устройство которого придумал я, пригоден для показа любых объектов.¹

Им можно воспользоваться для того, чтобы показывать мельчайшие объекты и увеличивать их до невероятных размеров, так что крошечная мушка покажется огромной, как слон. Но в этом случае света, даваемого лампами,

недостаточно. Нужно установить аппарат таким образом, чтобы объект мог быть освещен солнечными лучами, усиленными при помощи зажигательного стекла. Тогда аппарат еще раз меняет свое название. Теперь он будет называться солнечным микроскопом; о нем у меня будет случай поговорить более подробно в дальнейшем.

9 января 1762 г.

Письмо 197

Об использовании простой выпуклой линзы и о ее действии, если смотреть непосредственно через нее

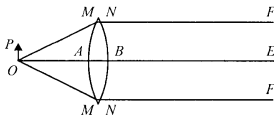
Выпуклыми линзами пользуются также, чтобы смотреть через них непосредственно. Однако рассказ о различных применениях линз будет понятнее, если мы пойдем далее в нашем исследовании их свойств.

Говоря о фокусном расстоянии такой линзы, я уже отметил, что, когда объект весьма удален от линзы, его изображение находится в самом фокусе, но когда объект приближают к линзе, изображение все более удаляется, так что, если расстояние до объекта равно фокусному расстоянию линзы, изображение уходит в бесконечность и становится, следовательно, бесконечно большим.

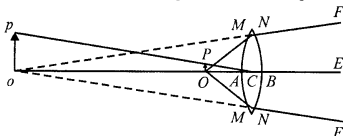
Причина заключается в том, что лучи OM и OM , падающие из точки O на линзу, преломляются ею таким образом, что становятся параллельными друг другу лучами NF и NF ; поскольку считается, что параллельные линии уходят в бесконечность и что изображение всегда находится там, где лучи, вышедшие из некоторой точки объекта, вновь собираются вместе после преломления, то в случае, когда расстояние до объекта равно фокусному расстоянию линзы, место, где находится изображение, удаляется в бесконечность; и поскольку безразлично, предположим ли мы, что параллельные линии встречаются в бесконечности слева или что они встречаются справа, то с равным основанием можно сказать, что изображение, бесконечно удаленное от нас, находится слева или справа; от этого ничего не меняется.

Помня об этом, В. В. поймет без труда, где будет находиться изображение, если мы еще более приблизим объект к линзе.

Пусть OP — объект, и поскольку расстояние от него до линзы меньше, чем фокусное расстояние, то лучи OM и OM , падающие на линзу из точки O , расходятся слишком далеко, чтобы преломляющая сила линзы могла сделать



их параллельными друг другу. После преломления они все равно останутся расходящимися, как их изображают линии NF и NF , но в значительно меньшей степени, чем прежде. Поэтому, если продолжить эти прямые в обратном на-



правлении, они встретятся в некоторой точке o — В. В. может увидеть, как сходятся пунктирные линии No и No . Следовательно, лучи NF и NF , проходя через линзу, движутся по таким направлениям, как если бы они падали из точки o (хотя они никогда не проходили через эту точку, ибо свое новое направление они получили только в линзе). Поэтому глаз, в который попадут эти преломленные лучи NF и NF , воспримет их так, как если бы они в самом деле пришли из точки o , и у наблюдателя создается впечатление, что объект его наблюдения находится в точке o . Однако никакого изображения, как это было в предыдущем случае, там не будет. Можно поставить в o белую доску, на ней не появится никакой картины из-за отсутствия лучей. Поэтому говорят, что в o находится мнимое изображение, которого в действительности нет; слово «мнимое» противопоставляется слову «действительное».

Однако глаз, находящийся в E , получает такое же впечатление, как если бы объект OP , из которого вышли лучи, находился в o . Как и в предыдущем случае, очень важно знать местоположение и размеры этого мнимого изображения op . Что касается местоположения, уместно отметить, что если бы расстояние AO от линзы до объекта было равно фокусному расстоянию линзы, изображение было бы удалено от линзы на бесконечное расстояние; в этом сходство данного случая с предыдущим. Однако, чем более объект приближают к линзе, т. е. расстояние AO становится меньше фокусного расстояния линзы, тем ближе мнимое изображение притягивается к линзе, оставаясь, однако, дальше от линзы, чем самый объект.

Расстояние до объекта AO	Расстояние до мнимого изображения Ao
6 дюймов	Бесконечность
5	30 дюймов
4	12
3	6
2	3
1	1 и одна пятая

Приведем пример в пояснение. Предположим, что фокусное расстояние линзы равно 6 дюймам; прилагаемая таблица дает нам расстояние мнимого изображения op от линзы при различных удалениях объекта.

Что касается до размеров этого мнимого изображения op , то правило, по которому его находят, не сложно и годится для всех подобных случаев. Достаточно

провести через центр линзы (который я обозначил буквой C) и через оконечность P объекта прямую линию CPp ; точка ее пересечения с линией op , проведенной перпендикулярно к оси линзы в точке o , определит размеры мнимого изображения op . Очевидно, что это изображение всегда больше, чем самый объект OP , во столько раз, во сколько раз оно находится дальше от линзы, чем объект OP . Кроме того, мы видим, что это изображение не перевернуто, как это было в предыдущем случае. Оно — прямое и стоит прямо, как и сам объект.

Из этого В. В. поймет, должно быть, как могут воспользоваться такими линзами люди, зрение которых не годится для рассматривания предметов с близкого расстояния и которые лучше видят то, что находится на значительном отдалении. Таким людям стоит посмотреть на предмет через выпуклую линзу, и они увидят его, как если бы он был далеко отодвинут. Этот недостаток — неспособность хорошо различать предметы, находящиеся на близком расстоянии, — бывает обычно у старых людей; они пользуются поэтому очками, состоящими из пары выпуклых линз, которые, если подставить их под солнечные лучи, жгут как зажигательные стекла, благодаря чему можно узнать фокусное расстояние любой из таких линз. Некоторым людям нужны очки с очень коротким фокусным расстоянием, другие пользуются очками с более длинным фокусом — в соответствии с состоянием их зрения. Однако сейчас мне достаточно объяснить в общих чертах, почему и как пользуются очками.

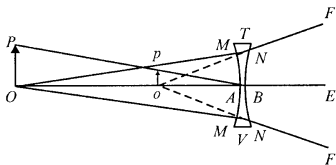
12 января 1762 г.

Письмо 198

Об использовании вогнутой линзы и о ее действии, если смотреть непосредственно через нее

Теперь В. В. известно, каким образом выпуклые линзы помогают зрению старых людей, являя им предметы более удаленными, нежели они есть на самом деле. Однако бывают и такие глаза, которым, чтобы отчетливо видеть предметы, нужно, чтобы изображения этих предметов находились близко; такую услугу оказывают им вогнутые линзы. Это приводит меня к описанию действия вогнутых линз, которое прямо противоположно действию выпуклых.

Если объект OP находится далеко и лучи OM и OM падают на вогнутую линзу TV почти параллельно — в этом случае, вместо того чтобы в результате преломления стать сходящимися, они, напротив того, расходятся еще более, следуя направлениям NF и NF , которые, если продолжить их в обратную сторону, сойдутся в точке o , так что глаз, расположенный, например, в E , воспримет эти преломленные лучи, как если бы они исходили из точки o , между тем как на самом деле они исходят из точки O . Именно поэтому на рисунке я провел прямые NF и NF пунктиром.



Поскольку предполагается, что объект удален на бесконечное расстояние, то, если бы линза была выпуклой, точка o была бы тем, что называют фокусом; но поскольку в данном случае истинного пересечения лучей не происходит, эту точку называют мнимым фокусом вогнутой линзы. Некоторые авторы называют ее также точкой рассеяния, потому что лучи, преломленные линзой, представляются рассеивающимися из этой точки.

Таким образом, вогнутые линзы не имеют истинного фокуса, как выпуклые, но только мнимый; однако расстояние Ao от этого фокуса до линзы также называется фокусным расстоянием вогнутой линзы. Зная фокусное расстояние и руководствуясь правилом, подобным тому, что дается для выпуклых линз, можно определить место изображения, если объект удален не на бесконечное расстояние. Однако изображение это — всегда мнимое, в то время как в случае с выпуклой линзой оно становится мнимым, только если объект удален от нее менее чем на фокусное расстояние. Не входя в объяснение вышеупомянутого правила, которое является чисто математическим, достаточно отметить, что:

I. Если объект OP удален на бесконечное расстояние, мнимое изображение or появится на фокусном расстоянии вогнутой линзы, причем с той же стороны, где находится объект. Однако, хотя это изображение является мнимым, на глаз, падающий в E , оно воздействует точно так же, как если бы оно было действительным (подобно мнимому изображению, создаваемому выпуклыми линзами, когда расстояние от объекта до линзы меньше ее фокусного расстояния — об этом последнем явлении я уже имел честь писать В. В.).

II. Если еще более приблизить объект OP к линзе, его изображение or также приблизится к линзе, однако изображение всегда будет ближе к линзе, чем объект, в то время как в случае выпуклых линз изображение всегда находится дальше, чем объект. Чтобы пояснить это, давайте предположим, что фокусное расстояние вогнутой линзы равно 6 дюймам.

III. Что касается размеров мнимого изображения or , то они определяются все по тому же правилу. Через середину линзы проводят прямую линию к оконечности P объекта. Эта линия пройдет через оконечность r изображения, ибо прямая PA соответствует лучу, идущему от оконечности объекта, и нужно, чтобы этот луч, преломившись, прошел через крайнюю точку изображения. Однако луч PA , поскольку он проходит через середину линзы, не испытывает

никакого преломления. Поэтому он пройдет через крайнюю точку изображения; она будет лежать в p .

IV. Это изображение — не перевернутое, но стоит в том же положении, что и объект. Здесь можно видеть, как соблюдается то общее правило, что во всех случаях, когда изображение лежит по ту же сторону от линзы, что и объект, оно всегда прямое независимо от того, выпуклая линза или вогнутая. Если же изображение лежит по другую сторону от линзы, оно перевернутое. Однако это возможно только в случае, если линза — выпуклая.

V. Из этого ясно, что изображения, создаваемые вогнутыми линзами, всегда меньше, чем сами объекты. Причина этого очевидна, поскольку изображения находятся ближе, чем объекты. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на рисунок. Вот главные свойства, которые следовало отметить, говоря о природе вогнутых линз и о том, как они создают изображение объекта.

Теперь нетрудно понять, каким образом вогнутые линзы оказывают большие услуги людям с коротким зрением. В. В., конечно, знает людей, которые не могут читать и писать иначе как уткнувшись носом в бумагу. Следовательно, для того чтобы видеть отчетливо, им нужно подносить объект к глазам; кажется, я уже писал, что таких людей называют *близорукими*. Вогнутые стекла будут им в высшей степени полезны, ибо представят им самые удаленные предметы как очень близкие, поскольку изображения этих предметов будут отстоять от линзы не далее ее фокусного расстояния, которое, по большей части, не превышает нескольких дюймов.

Верно, однако, что эти изображения намного мельче самих объектов, но это отнюдь не препятствует отчетливому видению. Маленький предмет, находящийся вблизи, может казаться нам значительно крупнее, чем предмет очень большой, но далекий. В самом деле, монета в два дрейера¹ покажется В. В. больше, чем звезда на небе, хотя эта звезда размерами во много раз превышает Землю.

Итак, тем, у кого ближнее зрение, или близоруким, нужны такие линзы, которые показывали бы им предметы более близкими, чем они есть на самом деле, т. е. вогнутые линзы. Те же, у кого зрение слишком дальнее и кого называют *дальнозоркими*, нуждаются в выпуклых линзах, которые являли бы им предметы на большем отдалении.²

Если расстояние до объекта OA равно	то расстояние до изображения OA' будет равно
бесконечности	6 дюймам
30 дюймам	5
12	4
6	3
3	2
2	1 и одной второй

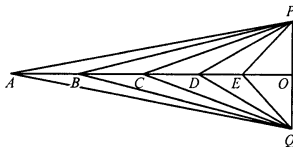
Письмо 199

*О видимых размерах, угле зрения
и о микроскопах вообще*

Я имел честь писать В. В. о близоруких людях, которые нуждаются в выпуклых линзах, чтобы хорошо видеть предметы далекие, в то время как дальнорзоркие пользуются выпуклыми линзами, чтобы хорошо видеть близкие предметы. Зрение каждого имеет свою дальность, и каждый хочет иметь такую линзу, которая сделала бы его зрение идеально четким. У близоруких дальность зрения очень мала, а у дальнорзорких — очень велика. Но бывают также глаза, столь хорошо устроенные, что они видят одинаково хорошо предметы близкие и далекие.

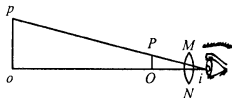
Однако, каковы бы ни были свойства зрения того или иного человека, расстояние не может быть слишком уж малым; нет таких близоруких, которые могли бы отчетливо видеть на расстоянии меньше одного дюйма.¹ Несомненно, В. В. известно, что если поднести какой-либо предмет слишком близко к глазам, то ничего увидеть невозможно, разве что очень смутно. Это зависит от устройства глаза. У людей оно таково, что они не могут видеть на очень малых расстояниях. Однако нет никакого сомнения в том, что насекомые могут видеть с очень близкого расстояния, а отдаленные предметы остаются невидимы для них. Я не верю, что маленькая мушка может видеть звезды, потому что она прекрасно видит с расстояния в десятую долю дюйма, мы же в таком случае не видим ничего. Это рассуждение приводит меня к описанию микроскопов, которые показывают нам мельчайшие объекты, как если бы они были весьма большими. Чтобы составить себе верное представление о микроскопах, нужно четко отличать видимые размеры каждого предмета² от его истинных размеров. Эти последние являются объектом науки геометрии и остаются постоянными, пока предмет пребывает в неизменном состоянии. Однако видимые размеры предмета могут варьировать до бесконечности, притом что самый предмет остается без изменений. Так, звезды кажутся нам крайне мелкими, хотя их истинные размеры огромны. Причина в том, что мы находимся на огромном расстоянии от них. Если бы нам было дозволено к ним приблизиться, они показались бы нам гораздо крупнее. Из этого В. В. без труда сделает вывод, что видимые размеры зависят от угла, составленного лучами, приходящими в наши глаза от крайних точек объекта.

Пусть POQ — объект нашего зрения; он будет виден под углом PAQ , если глаз будет находиться в A . Этот угол называется углом зрения; он определяет видимые размеры объекта. Из этого следует, что, чем более удаляется глаз от объекта, тем меньше становится этот угол. Поэтому очень большие тела могут быть видны под очень малым углом зрения, если только мы находимся далеко от них, как в случае со звездами. Но если глаз приблизится к объекту и будет наблюдать его из B , он увидит объект под углом зрения PBQ , который заметно



больше угла PAQ . Переместим глаз еще ближе, в точку C ; угол зрения PCQ будет еще больше. Далее, если глаз будет находиться в D , угол зрения будет PDQ , а если придвинуть глаз еще ближе, в E , угол зрения PEQ станет еще шире. Следовательно, чем более мы приближаем глаз к объекту, тем больше становится угол зрения и соответственно больше становятся видимые размеры объекта. Поэтому, каким бы маленьким ни был объект, его видимые размеры можно увеличивать сколь угодно: для этого нужно только приблизиться на расстояние, соответствующее такому углу зрения, какой нам надобен. Тогда муха, находящаяся близко от глаза, может показаться такой же большой, как слон на расстоянии десяти футов.³ При такого рода сравнениях нужно не забывать упомянуть то расстояние, на котором мы собираемся увидеть слона; если это условие не соблюдено, слова наши не выражают решительно ничего, потому что слон представляется нам большим только в том случае, если мы от него недалеко. Уже на расстоянии одной мили мы, вероятно, не отличим слона от свиньи, а если бы он был перенесен на Луну, то оказался бы совершенно невидим, потому что его видимые размеры стали бы слишком малыми.⁴ В этом смысле мы можем сказать, что муха нам кажется больше слона, находящегося слишком далеко. Поэтому, если мы хотим выразиться точно, не следует говорить о видимых размерах предмета без учета расстояния до этого предмета, потому что один и тот же предмет можно увидеть то очень большим, то очень маленьким в зависимости от того, мало или велико расстояние до этого предмета. Поэтому представляется, что увидеть мельчайшие предметы под очень большим углом зрения — совсем нетрудно; для этого нужно только держать их на очень близком расстоянии от глаза.

Муха вполне может пользоваться этим способом. Однако человеческие глаза ничего не увидят на слишком малом расстоянии, какими бы они ни были близорукими; кроме того, люди с нормальным зрением тоже хотели бы видеть мельчайшие предметы большими. Нужно найти средство, при помощи которого мы могли бы отчетливо видеть предмет, несмотря на то что он находится совсем рядом с глазом. Выпуклые линзы дают нам такую возможность, отдалая изображение предметов, находящихся слишком близко для нашего глаза. Применяются очень малые выпуклые линзы MN с очень коротким фо-



кусным расстоянием, например в полдюйма. Если поместить перед такой линзой небольшой предмет OP на расстоянии, несколько меньшем половины дюйма, линза представит его изображение где-нибудь в or , так далеко, как мы того пожелаем. Поэтому, установив глаз позади линзы, мы увидим предмет точно таким, как если бы этот предмет и в самом деле находился в o , т. е. на достаточном расстоянии, и как если бы он имел размеры or . Поскольку предполагается, что глаз расположен очень близко к линзе, то углом зрения будет угол pio , равный углу PiO , под которым объект OP был бы виден на этом расстоянии невооруженному глазу. Однако теперь зрение стало четким благодаря линзе. Это — тот принцип, на котором основано устройство микроскопов.

19 января 1762 г.

Письмо 200

Об оценке увеличения объектов, рассматриваемых в микроскопы

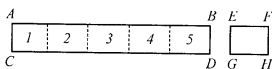
Если несколько человек рассматривают через микроскоп один и тот же объект, например ножку мухи, все согласны в том, что она представляется им очень большой, но их суждения об ее конкретных размерах сильно разойдутся. Один скажет, что эта ножка кажется ему большой, как лошадиная нога, другой — как нога козы, третий — как нога кошки. В сущности, однако, никто из них не скажет ничего определенного, если не добавит, на каком расстоянии он, как ему кажется, видит эту лошадиную, или козью, или кошачью ногу. Каждый из наблюдателей, не говоря этого вслух, подразумевает какое-то расстояние, и, поскольку все, конечно, подразумевают разное, не следует удивляться различию их мнений, ибо нога лошади, если смотреть на нее издали, вполне может показаться не больше, чем нога кошки, увиденная с близкого расстояния. Поэтому, когда требуется сказать, во сколько раз микроскоп увеличивает объекты, нужно взять за правило выражаться точно и указывать первым делом расстояние, для которого приводится сравнение.

Прежде всего не подобает сравнивать размеры изображений, даваемых нам микроскопами, с размерами объектов другого рода — тех, что мы привыкли видеть каждый день то вблизи, то издали. Самый лучший способ упорядочить такие сравнения и оценки — по-видимому, тот, которым пользуются ныне авторы, пишущие о микроскопах. Они сравнивают угол, под которым тот или иной малый объект виден под микроскопом, с тем углом, под которым этот же объект будет виден невооруженному глазу; считают, что этот малый объект, чтобы он был хорошо виден невооруженному глазу, нужно поместить на расстоянии 8 дюймов. При этом они исходят из свойств нормального зрения, ибо близорукий человек поднесет объект гораздо ближе к глазу, а дальнорезкий

сделает обратное. Но это различие не имеет значения, если твердо установить расстояние, которое мы берем за основу. У нас нет никакой причины предпочесть какое-нибудь расстояние, иное чем 8 дюймов, принятое всеми авторами, писавшими на эту тему. Таким образом, если скажут, что данный микроскоп увеличивает объекты в 100 раз, В. В. поймет, что в этот микроскоп объекты представляются в 100 раз более крупными, чем если бы мы смотрели на них с расстояния в 8 дюймов. Так В. В. составит себе правильное представление о свойствах этого микроскопа.

Вообще микроскоп увеличивает во столько раз, во сколько раз объект представляется более крупным, чем если бы его наблюдали без помощи линз с расстояния в 8 дюймов. В. В. согласится, конечно, что и это уже удивительно — видеть предмет в 100 раз крупнее, чем он представляется с расстояния в 8 дюймов. Однако удалось продвинуться гораздо дальше, и существуют микроскопы, дающие увеличение до 500 раз.¹ Это поразительно. В этом случае вполне можно было сказать, что мушинная нога кажется больше слоновьей. Я уверен, что вполне возможно сделать и такие микроскопы, которые будут увеличивать в 1000 и даже в 2000 раз;² несомненно, они откроют нам множество вещей, доселе нам неизвестных.

Однако, когда говорят, что объект под микроскопом кажется в 100 раз больше, чем если бы мы смотрели на него с расстояния в 8 дюймов,³ это надобно понимать так, что объект увеличился как в длину, так и в ширину, и в глубину, так что каждое из этих измерений представляется в 100 раз большим. Поэтому стоит представить себе на расстоянии 8 дюймов другой объект, подобный первому, но у которого длина в 100 раз больше, так же как ширина и глубина, — и это будет то изображение, которое мы видим в микроскоп. Однако если не только длина, но и ширина, и глубина некоторого предмета в 100 раз превышает все эти параметры другого предмета, то В. В. без труда поймет, что объем первого предмета будет много большим, чем в 100 раз. Чтобы сделать это совсем понятным, рассмотрим два параллелограмма, $ABCD$ и $EFGH$, имеющие одинаковую ширину, но длина AB первого параллелограмма в пять раз больше, чем длина EF второго. Ясно, что площадь, или заключенное внутри фигуры пространство, будет у первого параллелограмма в 5 раз больше, чем у второго, поскольку в сущности второй содержится в первом пятикратно.



Следовательно, для того чтобы параллелограмм AD был в 5 раз больше параллелограмма EH , достаточно, чтобы его длина была в 5 раз больше, притом что ширина у них одинакова. Но если бы, кроме того, и ширина первого параллелограмма тоже была в 5 раз большей, он стал бы еще в 5 раз больше первого; пятью пять — двадцать пять, значит, он был бы в 25 раз больше первого параллелограмма. Таким образом, из двух подобных фигур та, которая в 5 раз длиннее и в 5 раз шире другой, на самом деле в 25 раз больше другой.

Если же мы примем в расчет еще глубину или высоту, разница в размерах станет еще большей. Пусть В. В. представит себе две комнаты, из которых одна в 5 раз длиннее, в 5 раз шире и в 5 раз выше другой; ее вместимость будет в 5 раз по 25, т. е. в 125 раз большей. Поэтому если говорят, что микроскоп увеличивает в 100 раз, то, поскольку это относится как к длине, так равным образом к ширине и глубине, т. е. ко всем измерениям, общая величина объекта увеличится в 100 раз, умноженные на 100 и еще раз на 100. Если 100 взять 100 раз, получится 10 000, которые, будучи взяты еще 100 раз, дадут 1 000 000, или миллион. Таким образом, если микроскоп увеличивает в 100 раз, общая величина объекта представляется увеличенной в 1 000 000 раз. Однако обычно ограничиваются тем, что говорят: микроскоп увеличивает в 100 раз; это следует понимать так, что все измерения, т. е. длина, ширина и глубина, кажутся увеличенными в 100 раз. Поэтому если бы микроскоп увеличивал в 1000 раз, общая величина объекта стала бы больше в тысячу раз, взятые тысячу раз, т. е. в 1 000 000 000, или миллиард раз. Такой эффект был бы поразительным.

Эти замечания необходимы, чтобы правильно понимать то, что говорят об увеличении, даваемом микроскопами.

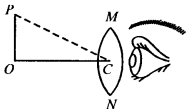
23 января 1762 г.

Письмо 201

Фундаментальная теорема для конструирования простых микроскопов и расчет некоторых простых микроскопов

После того как я объяснил В. В., как следует оценивать силу микроскопа, мне будет нетрудно изложить основное положение, из которого исходят, когда делают простые микроскопы. По этому случаю я должен заметить, что существуют две разновидности микроскопов: одни имеют единственную линзу, а другие — две или несколько. Первые называются простыми микроскопами, вторые — сложными; относительно сложных микроскопов требуются особые разъяснения. Сначала я опишу В. В. простые микроскопы, состоящие лишь из одной выпуклой линзы.¹ Их увеличение определяется таким правилом: простой микроскоп увеличивает во столько раз, во сколько раз его фокусное расстояние меньше 8 дюймов. Вот доказательство.

Пусть MN — выпуклая линза, а CO — ее фокусное расстояние; объект OP должен находиться примерно в фокусе, чтобы глаз видел его отчетливо; он будет виден под углом OCP . Если бы на тот же объект смотрели с расстояния в 8 дюймов, он был бы виден под углом, во столько же раз меньшим, во сколько раз 8 дюймов превосходят расстояние CO .



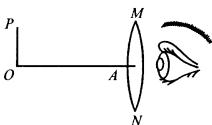
Во столько же раз и объект будет казаться крупнее, чем если бы на него смотрели с расстояния в 8 дюймов. Микроскоп в соответствии с правилом, установленным выше, увеличивает во столько раз, во сколько раз показываемые им объекты крупнее, чем если бы мы смотрели на них с расстояния в 8 дюймов. Следовательно, микроскоп увеличивает во столько раз, во сколько его фокусное расстояние меньше 8 дюймов. Поэтому линза с фокусным расстоянием, равным 1 дюйму, увеличивает ровно в 8 раз, а линза, у которой фокусное расстояние всего полдюйма, будет увеличивать в 16 раз. Дюйм делят на 12 равных частей, называемых *линиями*, так что половина дюйма содержит 6 линий. Поэтому нетрудно показать, какое увеличение дает каждая линза с фокусным расстоянием, выраженным в линиях, в соответствии с таблицей, следующей ниже.

Фокусное расстояние линзы в линиях

	12	8	6	4	3	2	1	1/2	линии
увеличивает в	8	12	16	24	32	48	96	192	раза

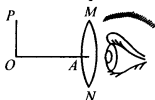
Таким образом, выпуклая линза с фокусным расстоянием, равным одной линии, увеличивает в 96 раз; если фокусное расстояние равно 1/2 линии, микроскоп будет увеличивать в 192, или круглым счетом в 200 раз. Если бы мы захотели получить большие увеличения, нужно было бы сделать линзы с еще более коротким фокусом. Как я уже отмечал, чтобы изготовить линзу с заданным фокусным расстоянием, нужно сделать радиус каждой из ее поверхностей равным этому фокусному расстоянию, так, чтобы линза была одинаково выпуклой с обеих сторон. Я представлю В. В. рисунки некоторых таких линз, или микроскопов.

I. Фокусное расстояние АО этой линзы равно 1 дюйму или 12 линиям.



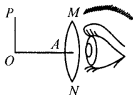
Этот микроскоп увеличивает в 12 раз.

II. Фокусное расстояние линзы MN равно 8 линиям.



Такой микроскоп увеличивает в 12 раз.

III. Фокусное расстояние линзы MN равно 6 линиям.



Такой микроскоп увеличивает в 16 раз.

IV. Фокусное расстояние этой линзы равно 4 линиям.



Такой микроскоп увеличивает в 24 раза.

V. Фокусное расстояние этой линзы равно 3 линиям.



Такой микроскоп дает увеличение в 32 раза.

VI. Фокусное расстояние этой линзы равно 2 линиям.



Такой микроскоп увеличивает в 48 раз.

VII. Фокусное расстояние этой линзы — всего одна линия.



Такой микроскоп дает увеличение в 96 раз.

Можно делать линзы и намного меньших размеров. Искусные мастера делают такие линзы и дают нам возможность получать увеличения гораздо большие; необходимо сказать, что при этом расстояние от объекта до линзы становится все меньше и меньше, поскольку оно должно быть примерно равно

фокусному расстоянию линзы. Я говорю «примерно», потому что каждый наблюдатель располагает свой глаз ближе к линзе или дальше от нее в зависимости от особенностей своего зрения. Близорукие приближают глаз к линзе в большей степени, дальнозоркие — в меньшей. Теперь В. В. знает, что, чем больше увеличение, тем меньше сама линза или микроскоп и тем ближе должен находиться объект. Это очень большие недостатки, во-первых, потому, что смотреть через такую маленькую линзу неудобно, и, во-вторых, потому, что объект должен располагаться столь близко к глазу. Эти недостатки пытаются исправить при помощи соответствующих добавочных приспособлений, которые облегчают пользование линзой, но качество изображения значительно ухудшается, как только хоть немного изменится расстояние до объекта. Кроме того, когда пользуются очень мелкими линзами, объект должен почти касаться линзы, и если его поверхность в той или иной степени неровная, то объект виден нерезко, ибо когда выступающие части объекта находятся на правильном расстоянии, то углубления на его поверхности слишком удалены от линзы и потому видны расплывчато. Это — главная причина, заставляющая нас отказываться от простых микроскопов, когда нам требуется большое увеличение, и обращаться к сложным.

26 января 1762 г.

Письмо 202

О пределах возможностей и ошибках простых микроскопов

Выше я познакомил В. В. с тем, как нужно делать простые микроскопы, увеличивающие во столько раз, во сколько мы захотим. Достаточно провести прямую линию длиною в 8 дюймов, подобную той, которую я обозначил AB *; она должна содержать ровно 8 дюймов рейнского фута, которым пользуются во всей Германии. Эту прямую AB нужно разделить на столько равных частей, во сколько раз мы хотим увеличивать объекты; каждая из таких частей будет равна фокусному расстоянию той линзы, которая нам требуется. Так, если мы хотим получить увеличение в сто раз, отрезок AI будет одной сотой частью прямой AB . Следовательно, нужно сделать линзу с фокусным расстоянием, в точности равным этому отрезку AI , который одновременно дает нам радиус поверхностей линзы, здесь нарисованной.

Таким образом, В. В. видит, что, чем больше увеличение, тем меньше должна быть линза, так же как и фокусное расстояние, на котором нужно помещать объект OP перед линзой, в то время как глаз находится позади

* Не имея возможности начертить здесь прямую длиной в 8 дюймов, мы изобразили прямую половинной длины, т. е. четырех дюймов длиною.



нее. Если же была бы сделана линза вдвое меньших размеров, чем та, что я здесь описал, чтобы получить увеличение в 200 раз, эта линза была бы такой маленькой, что, можно сказать, потребовался бы микроскоп, дабы увидеть саму эту линзу. Такую линзу пришлось бы держать так близко, что глаз почти касался бы ее, и здесь, конечно, большое неудобство, как я уже имел честь отметить. Вот почему увеличение микроскопа вряд ли можно сделать больше двухсоткратного; этого недостаточно, чтобы увидеть мельчайшие объекты, существующие в природе. Любая самая чистая вода содержит в себе мельчайшие живые существа, которые, даже если наблюдать их при увеличении в 200 раз, все еще кажутся мелкими словно блохи,¹ и нужно было бы иметь микроскопы, увеличивающие в 20 000 раз, чтобы увидеть их размером с крысу; но мы еще далеки от того, чтобы достичь подобных увеличений, даже при помощи сложных микроскопов.

Но и помимо тех недостатков простых микроскопов, которые я отметил выше, — в тех случаях, когда требуются большие увеличения, все, кто пользуется простыми микроскопами, жалуются на еще один, не менее досадный: чем больше увеличение, тем более темными представляются объекты, как будто их наблюдают при свете какого-то очень слабого светильника или даже при лунном свете, так что почти ничего нельзя разглядеть (и это не вызовет удивления В. В., если В. В. сообразовит вспомнить, что свет полной Луны более чем в 200 000 раз слабее солнечного). Поэтому очень важно объяснить, чем вызвано такое ослабление света. Нетрудно понять, что, если лучи, приходящие от очень маленького объекта, должны представить его нам таким, как если бы он был намного больше, это малое количество света не может оказаться достаточным; однако, сколь бы обоснованным ни казалось такое объяснение, оно несостоятельно и может только ввести нас в заблуждение в этом вопросе. Ибо, если бы увеличение, производимое линзой, неукоснительно влекло за собой уменьшение яркости, это должно бы было быть заметным и при малых увеличениях, пусть и в меньшей степени. Однако при увеличениях до 50-кратного никакого уменьшения яркости заметно не будет, хотя она должна была бы уменьшиться в 50 раз, если бы приведенное выше объяснение было правильным. Значит, причину этого явления нужно искать в чем-то другом; более того, нам следует обратиться к основам нашего зрения.

По этому случаю пусть В. В. сообразовит припомнить то, что я имел честь писать о назначении зрачка, того черного отверстия, что находится посреди радужной оболочки глаза. Именно через это отверстие лучи входят в глаз, и чем оно шире, тем больше входит лучей. Здесь рассмотрим два случая — первый, когда предметы светятся ярко, и второй — когда они освещены очень слабо. В первом случае зрачок сужается сам собою, помимо

нашей воли. Создатель наделил его такую способностью, чтобы защитить глазное дно от чрезмерно яркого освещения, которое неминуемо повредило бы нервы. Поэтому всегда, когда мы находимся в каком-нибудь ярко освещенном месте, мы видим, что все зрачки сужены, дабы в глаза попадало лишь столько лучей, сколько нужно, чтобы они создали в нем должной яркости изображение. Противоположное, однако, происходит, когда мы находимся в плохо освещенном месте; тогда зрачок расширяется, чтобы получать свет в большем количестве. Эти изменения легко можно наблюдать всякий раз, когда из какого-нибудь плохо освещенного места мы переходим в ярко освещенное. Для наших целей довольно будет отметить, что, чем больше лучей входит в глаз, тем ярче изображение, переданное на сетчатку; и, напротив, чем меньше будет количество лучей, попадающих в глаз, тем бледнее изображение в глазу, и, следовательно, оно покажется более темным. Может случиться и так, что в глаз войдет лишь очень немного лучей, притом что зрачок будет широко раскрыт; чтобы убедиться в этом, можно проделать иглой крохотную дырочку в куске картона и посмотреть через нее на какой-нибудь предмет; как бы ярко он ни был освещен Солнцем, он будет казаться тем темнее, чем меньше отверстие. Через такую дырочку можно даже смотреть на Солнце. Причина этого вполне очевидна: в глаз входит лишь очень небольшое количество лучей; как бы ни был широко открыт зрачок, количество света, попадающего в глаз, определяется отверстием в картоне, а не зрачком, который обычно выполняет эту функцию.

То же самое происходит в микроскопах, дающих сильное увеличение, ибо если линза очень мала, через нее проходит лишь очень малое количество лучей в пучке mn , и предмет должен казаться настолько же более темным, насколько этот пучок меньше отверстия зрачка. Из этого мы видим, что упоминавшееся выше уменьшение освещенности происходит лишь тогда, когда линза MN (или, вернее, открытая ее часть) меньше зрачка.² Если бы было возможно создать большое увеличение при помощи более крупной линзы, уменьшения яркости не происходило бы; в этом и заключается истинное объяснение данного вопроса. Чтобы избежать вышеописанного недостатка, появляющегося при больших увеличениях микроскопов, стараются осветить объекты как можно ярче с целью усилить те немногие лучи, которые достигают глаза. Для этого объекты освещают прямым солнечным светом или применяют зеркала, которые отбрасывают солнечный свет на объект.

Вот в основном те обстоятельства, которые следует принимать во внимание, имея дело с простыми микроскопами, и В. В. теперь с легкостью может судить о свойствах тех из них, которые доведется увидеть.



Письмо 203

О телескопах и их действии

Прежде чем перейти к описанию сложных микроскопов, я позволю себе сделать отступление и надеюсь, что рассказ о зрительных трубах не вызовет неудовольствия В. В. Эти две группы приборов имеют очень много общего, и, зная устройство одних, легче понять устройство других. Если микроскопы служат для разглядывания объектов близких, представляя их нам под углом, значительно бóльшим, чем когда мы смотрим на них с некоторого расстояния, например с 8 дюймов, то приборы другой группы предназначаются для того, чтобы лучше видеть объекты сильно удаленные, представляя их нам под бóльшим углом, чем мы видим их простым глазом. Приборы второй группы носят различные названия в зависимости от своих размеров и назначения. Самые маленькие называют «карманными подзорными трубами». Другие, побольше, — «подзорными трубами»; их следует отличать от очков, носимых стариками на носу.¹ Инструменты, которыми пользуются астрономы, носят название «труб». Общее же название всех приборов этого типа — «зрительные трубы». Итак, это приборы, которые представляют нам предметы весьма удаленные под углом бóльшим, нежели тот, под которым эти предметы видны невооруженному глазу. Определение это является вполне точным и не содержит ничего произвольного в отличие от того, что дается микроскопам, увеличение которых относят к некоторому произвольному расстоянию, принимаемому обыкновенно равным 8 дюймам.

Однако когда речь идет о предметах очень удаленных, расстояние до которых слишком велико для нашего зрения, то увеличение, естественно, относят к тому же расстоянию, и телескоп увеличивает во столько раз, во сколько он увеличивает угол, под которым нам видны объекты, по сравнению с тем, как они видны невооруженному глазу. Например, Луну мы видим под углом в половину градуса; следовательно, телескоп увеличивает в 100 раз, если он представляет нам Луну под углом в 50 градусов, т. е. в 100 раз бóльшим, чем полградуса; если бы телескоп увеличивал в 200 раз, он представлял бы нам Луну под углом в 100° , и тогда нам показалось бы, что Луна закрыла собой более половины видимого неба, протяженность которого всего лишь 180 градусов.

Обычно говорят, что телескопы приближают к нам предметы; это выражение весьма двусмысленно: оно допускает два различных толкования. Одно — что, глядя в телескоп, мы полагаем предметы во столько же раз более близкими к нам, во сколько увеличивает телескоп; но я уже имел честь обратить внимание В. В. на то, что мы можем определять расстояния до предметов лишь посредством суждения и оценки; суждение же наше действительно применимо лишь к предметам, не слишком удаленным. Если предметы столь далеки, как мы здесь предполагаем, наше суждение о расстоянии может нас сильно обмануть. Другое

толкование — а именно когда мы подразумеваем, что телескопы представляют нам предметы столь большими, какими мы их увидели бы, приблизившись к ним, — точнее соответствует действительности. Ибо В. В. известно, что, чем более приблизимся мы к предмету, тем больше станет угол, под которым он будет виден; таким образом, это определение возвращает нас к тому, которое я дал вначале. Однако когда мы смотрим на предметы, хорошо нам знакомые, например на людей, находящихся в большом отдалении, и видим их в подзорную трубу под значительно большим углом, — в этом случае нам кажется, что эти люди находятся на значительно меньшем расстоянии, поскольку тогда они были бы видны под углом, соответственно большим. Если же речь идет об объектах малознакомых, таких, например, как Солнце или Луна, то никакой оценки расстояния быть не может. Этот случай совершенно отличен от того, о котором я имел честь говорить В. В., — когда вогнутая линза, которой пользуются близорукие люди, строит изображения предметов на очень малом расстоянии: например, вогнутая линза, которою пользуюсь я, представляет мне изображения всех предметов удаленными на расстояние 4 дюймов. Это, однако, не заставляет меня вообразить, что Солнце, Луна и звезды находятся столь близко ко мне. Итак, мы не думаем, что объекты пахоятся там, где их изображения представлены нам линзами; мы верим в это не более, чем в то, что предметы находятся внутри нашего глаза, хотя их изображения создаются именно там. И В. В., должно быть, вспомнит, что наше суждение об истинном расстоянии до предметов, так же как об их истинных размерах, зависит от ряда обстоятельств.

Итак, главное назначение зрительных труб — увеличивать, т. е. расширять угол, под которым объекты видны невооруженному глазу; вот почему зрительные трубы различают в основном по даваемому ими увеличению. Так, говорят, что такая-то труба увеличивает в 5 раз, другая — в 10, третья — в 20 или же 30 раз, и т. д. В связи с этим я отмечу, что карманные подзорные трубы редко увеличивают более чем в 10 раз; однако обычные подзорные трубы, которыми пользуются, чтобы разглядывать удаленные предметы на Земле, дают увеличение от 20- до 30-кратного, их длина может достигать 6 футов и более. Подобное увеличение, хотя и очень значительное, если речь идет о земных объектах, недостаточно в случае небесных объектов, которые требуют увеличения значительно большего. Есть поэтому астрономические телескопы или трубы, дающие увеличение от 50 до 200 раз; получить большее увеличение трудно, поскольку в применяющихся обычно конструкциях чем больше увеличение, тем длиннее становится труба. Телескоп, который должен увеличивать в 100 раз, имеет длину уже 30 футов, а труба в 100 футов едва может обеспечить увеличение в 200 раз. В. В. понимает, конечно, как трудно направлять на объект и поворачивать эти сооружения и что это ставит неодолимые препятствия для дальнейших опытов. Знаменитый Гевелиус,² данцигский астроном, пользовался 200-футовыми трубами, однако эти инструменты, надо полагать, были весьма несовершенны, ибо то, что наблюдал Гевелиус, ныне видят в телескопы, значительно более короткие.

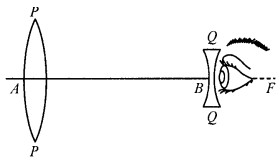
Вот в самых общих чертах описание зрительных труб и их разновидностей; на этом следовало остановиться прежде, чем углубиться в подробности их устройства и способов, какими сочетают в них две или несколько линз, чтобы получить тот или иной эффект.

2 февраля 1762 г.

Письмо 204

О приближающих или карманных подзорных трубах

Мы не можем сказать с уверенностью, кто построил первую зрительную трубу, был ли то некий голландский мастер или итальянец по фамилии Порты.¹ Как бы там ни было, около 150 лет тому назад начали делать небольшие карманные подзорные трубы, в которых было две линзы, одна выпуклая, а другая вогнутая. Похоже, что столь полезным изобретением мы обязаны чистой случайности. Кто-то мог без всякого умысла сдвигать или раздвигать две линзы, пока не получилось отчетливое изображение.



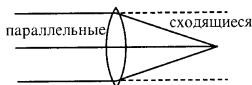
Выпуклая линза PAP обращена к объекту, а вогнутую QBQ прикладывают к глазу. Поэтому линзу PAP называют объективом, а линзу QBQ — окуляром.² Обе линзы расположены на одной оси AB , перпендикулярной той и другой линзе и проходящей через их центры. Фокусное расстояние у выпуклой линзы PAP должно быть больше, чем у вогнутой, и обе они должны быть

установлены так, что если AF — фокусное расстояние объектива PAP , то фокус окуляра QBQ попадает в ту же точку F ; таким образом, расстояние AB между линзами равно разности фокусных расстояний этих линз, при том что AF — фокусное расстояние объектива, а BF — окуляра. Когда линзы установлены на свои места, люди с хорошим зрением будут отлично видеть весьма удаленные предметы, которые покажутся им во столько же раз больше, во сколько отрезок AF больше отрезка BF . Так, если фокусное расстояние объектива равно 6 дюймам, а окуляра — 1 дюйму, то предметы окажутся увеличенными в 6 раз, т. е. предстанут под углом в 6 раз большим, чем видно невооруженному глазу; в этом случае расстояние между линзами будет 5 дюймов и такую же будет длина подзорной трубы. В. В. понимает, конечно, и без моего напоминания, что линзы заключены в трубку соответствующей длины, хотя я и не изобразил ее на рисунке.

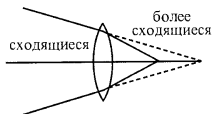
После того как я объяснил, каким образом должны сочетаться две линзы, чтобы из них получился хороший зрительный инструмент, остается два во-

В общем В. В. нужно запомнить следующие правила, относящиеся к преломлению лучей линзами, как выпуклыми, так и вогнутыми.

I. Выпуклая линза делает лучи сходящимися.

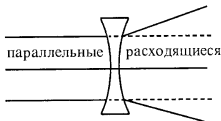


Лучи сходящиеся делаются еще более сходящимися.

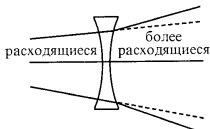


Расходящиеся же становятся менее расходящимися.

II. Вогнутая линза делает параллельные лучи расходящимися.



Лучи расходящиеся становятся еще более расходящимися.

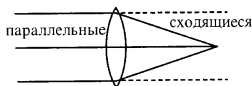


Сходящиеся же лучи становятся менее сходящимися.

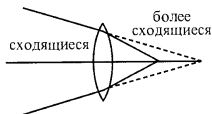
В основе всего этого лежит природа преломления и форма линз; подробное описание потребовало бы слишком много места; и, кроме того, два правила, которые я изложил выше, заключают в себе все самое существенное. Итак, считаем доказанным, что, если две линзы, выпуклая и вогнутая, сочетаются таким образом, что у них получается общий фокус в F , отдаленные предметы

В общем В. В. нужно запомнить следующие правила, относящиеся к преломлению лучей линзами, как выпуклыми, так и вогнутыми.

I. Выпуклая линза делает лучи сходящимися.

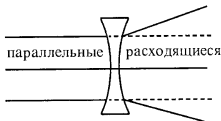


Лучи сходящиеся делаются еще более сходящимися.

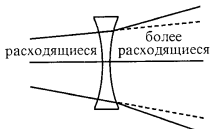


Расходящиеся же становятся менее расходящимися.

II. Вогнутая линза делает параллельные лучи расходящимися.



Лучи расходящиеся становятся еще более расходящимися.



Сходящиеся же лучи становятся менее сходящимися.

В основе всего этого лежит природа преломления и форма линз; подробное описание потребовало бы слишком много места; и, кроме того, два правила, которые я изложил выше, заключают в себе все самое существенное. Итак, считаем доказанным, что, если две линзы, выпуклая и вогнутая, сочетаются таким образом, что у них получается общий фокус в F , отдаленные предметы

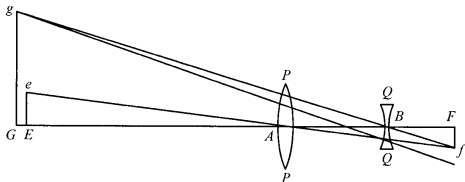
будут представлены ими отчетливо, ибо параллельность лучей будет восстановлена вогнутой линзой после того, как выпуклая линза сделает их сходящимися. Или, иными словами, поскольку лучи, приходящие от очень удаленных объектов, почти параллельны между собой, выпуклая линза делает их сходящимися, а затем вогнутая устраняет это схождение и снова делает лучи параллельными друг другу.

6 февраля 1762 г.

Письмо 205

Об их увеличении

Мне остается еще познакомить В. В. с тем, что является для зрительных труб самым важным: т. е. чем определяется даваемое ими увеличение. Я надеюсь изложить вопрос настолько ясно, чтобы не было никаких недоумений. Для этого я сведу то, что мне необходимо сказать, к следующим посылкам.



I. Пусть Ee — объект, располагающийся на оси зрительной трубы; ось проходит перпендикулярно обоим линзам через их центры. Предмет же Ee следует считать удаленным в бесконечность.

II. Глаз, находящийся в A , будет видеть этот предмет под углом $E Ae$, который называют «углом зрения». Итак, нужно доказать, что, если посмотреть на этот же предмет в зрительную трубу, он будет виден под углом зрения гораздо большим, и именно во столько раз большим, во сколько раз по фокусному расстоянию линза объектива PAP превосходит окулярную линзу QBQ .

III. Поскольку эффект любых линз заключается в том, чтобы представить объекты не там, где они находятся, изменив притом их размеры, нам остается только исследовать изображения, которые будут последовательно даны двумя линзами; последнее из изображений является непосредственным объектом зрения для того, кто смотрит в зрительную трубу.

IV. Поскольку объект Ee удален на бесконечное расстояние от выпуклой линзы PAP , его изображение будет находиться позади линзы, в Ff , причем AF

будет равно фокусному расстоянию линзы. Размеры же изображения Ff определяются прямою fAe , проведенной из оконечности e объекта через центр A линзы; итак, мы видим, что изображение это — перевернутое и во столько раз меньше объекта, во сколько расстояние AF меньше расстояния AE .

V. Теперь изображение Ff является объектом для линзы — окуляра QBQ ; лучи, падающие на эту линзу, — те, которые должны были построить изображение Ff , но они перехвачены по дороге вогнутой линзой QBQ , так что изображение это — всего лишь воображаемое. Эффект, однако, таков же, как если бы оно было реальным.

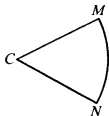
VI. Это изображение Ff , которое мы теперь рассматриваем как объект, удалено от линзы QBQ на ее фокусное расстояние; преломлением этой последней оно будет отодвинуто на расстояние почти бесконечное. На чертеже, помещенном выше, это новое изображение находится в Gg ; расстояние AG мы принимаем равным бесконечности: лучи, преломленные вторично линзой QBQ , пойдут так, как если бы они в самом деле шли от изображения Gg .

VII. Поскольку это второе изображение Gg является объектом для того, кто смотрит в зрительную трубу, нам нужно знать размеры этого изображения. Для этого, поскольку оно получается из первого изображения Ff в результате преломления линзой QBQ по общему правилу, нам нужно только провести через центр B линзы прямую, проходящую через точку f первого изображения, и эта прямая даст нам крайнюю точку g второго изображения.

VIII. Пусть глаз наблюдателя находится в B ; коль скоро приходящие в глаз лучи движутся по такому же пути, как если бы они и в самом деле падали от изображения Gg , оно будет видно под углом GBg , заметно большим, чем угол EAe , под которым объект Ee виден невооруженному глазу.

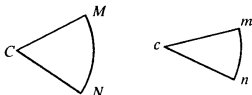
IX. Рассмотрим подробнее эти два угла и сравним их. Прежде всего ясно, что вертикальные углы EAe и FAf равны; точно так же угол GBg равен углу FBf , поскольку они тоже являются вертикальными. Следовательно, требуется доказать, что угол FBf превосходит угол FAf во столько раз, во сколько отрезок AF превосходит BF , где AF — это фокусное расстояние объектива, а BF — окуляра.

X. Чтобы доказать это, необходимо прибегнуть к некоторым теоремам, взятым из геометрии, — о свойствах секторов. В. В. вспомнит, наверное, что



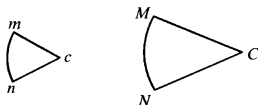
сектор — это часть круга, заключенная между двумя радиусами CM и CN и дугой (т. е. частью окружности) MN . Таким образом, в любом секторе можно подвергнуть рассмотрению три его элемента: 1) радиус CM или CN окружности; 2) размеры дуги MN и 3) угол MCN .

XI. Рассмотрим теперь два сектора MCN и mcp , у которых радиусы CM и cm равны; в начальном курсе геометрии доказывается, что углы C и c так относятся друг к другу, как дуги MN и mn ; или, иначе говоря, угол C во столько



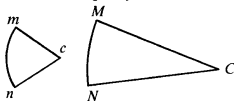
же раз больше угла c , во сколько дуга MN больше дуги mn ; однако, вместо того чтобы выражаться столь неудобным способом, говорят так: углы C и c пропорциональны дугам MN и mn , если радиусы их равны.

XII. Рассмотрим также два сектора MCN и mcp , у которых углы C и c равны, но радиусы различны; в геометрии доказано, что дуга MN во столько раз больше дуги mn , во сколько радиус CM больше радиуса cm ; говорят еще



иначе — что дуги пропорциональны радиусам, если углы равны. Причина этого ясна, поскольку каждая дуга содержит столько же градусов, сколько ее угол, а градусы большей окружности крупнее градусов маленькой во столько же раз, во сколько большой радиус превосходит малый.

XIII. Рассмотрим, наконец, такой случай, когда в двух секторах MNC и mnc дуги равны (т. е. $MN = mn$), а радиусы CM и cm — не равны.



В этом случае угол C , соответствующий большому радиусу CM , — меньше, а угол c , соответствующий малому радиусу cm , — больше, причем в том же соотношении, в каком находятся радиусы. Или, иначе, угол c во столько же раз больше угла C , во сколько радиус CM больше радиуса cm ; или же, как говорят геометры, углы обратно пропорциональны радиусам, если дуги равны.

XIV. Это последнее рассуждение приведет меня к поставленной цели, если добавить следующее замечание: когда углы очень малы, как в случае карманных подзорных труб, дуги MN и mn не очень отличаются по длине от своих хорд, т. е. от прямых отрезков MN и mn .

XV. Отметив это, вернемся к чертежу в начале письма. Треугольники FAf и FBf можно рассматривать как сектора, у которых дуга Ff — общая. Следовательно, угол FBf во столько же раз превосходит угол FAf , во сколько расстояние AF превосходит расстояние BF . Поэтому объект Ee будет виден в зрительную трубу под углом во столько раз большим, во сколько фокусное расстояние AF объектива превосходит фокусное расстояние BF окуляра, что и требовалось доказать.

9 февраля 1762 г.

Письмо 206

О недостатках этих карманных подзорных труб и о поле зрения

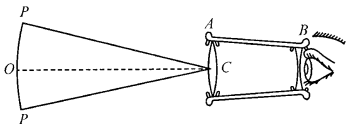
В. В. понимает, конечно, что от этих маленьких подзорных труб не следует ожидать очень больших увеличений, и я уже отмечал, что они увеличивают предметы не более, чем в 10 раз. Если бы мы захотели сделать их сильнее, длина таких труб стала бы чрезмерно большой, так что их нельзя было бы носить в кармане; кроме того, у них появились бы и другие, более существенные недостатки. Это заставило мастеров полностью отказаться от этой разновидности зрительных труб в тех случаях, когда требуются более значительные увеличения.

Самый большой из этих недостатков — малые размеры поля зрения; это и побуждает меня разъяснить В. В., что такое поле зрения и его размеры, имеющие большое значение для любых зрительных труб. Когда направляют телескоп или подзорную трубу на небо или на какие-нибудь очень далекие предметы на Земле, пространство, видимое в трубу, имеет форму круга; мы видим только те объекты, которые попадают в этот круг, так что если мы хотим посмотреть на какой-нибудь другой объект, приходится менять положение инструмента. Этот круг, в котором заключено пространство, открывающееся взгляду наблюдателя, называют полем зрения или просто полем зрительной трубы. В. В., несомненно, согласится, что если поле зрения велико, то это — большое достоинство, а очень малое поле зрения — большой недостаток для такого рода инструментов.

Сравним две зрительные трубы, направленные на Луну; в одну из них видна только половина Луны, в то время как в другую она видна целиком вместе с соседними звездами; поле зрения второй трубы значительно больше, чем первой. Та, которая открывает нам большее поле зрения, не только избавляет нас от неприятной необходимости слишком часто менять положение инструмента, но и доставляет то преимущество, что, имея перед глазами одновременно различные участки объекта, мы получаем возможность сравнивать их между собой.

Вот почему, если подозрная труба или телескоп имеет более широкое поле зрения, это считают весьма важным достоинством; по этой причине представляет большой интерес измерить поле зрения того или иного инструмента. В этом вопросе руководствуются тем, что являет нам небо, и определяют, чему равен круг, видимый в зрительную трубу, измерив его диаметр в градусах и минутах. Так, поскольку видимый диаметр Луны составляет примерно полградуса, то если в подозрную трубу или телескоп не видно ничего, кроме Луны, говорят, что диаметр их поля зрения равен половине градуса; если же была бы видна сразу только четверть Луны, то диаметр поля зрения составлял бы лишь четверть градуса.¹

Итак, измеряя углы, мы получаем возможность измерять поле зрения; это ясно само собою.



Предположим в соответствии с прилагаемым чертежом, что в трубу AB видно только пространство POP и объекты, которые в нем содержатся. Поскольку это пространство — круг, его диаметром будет отрезок POP , центр которого находится на оптической оси инструмента. Если провести из крайних точек P и P прямые PC и PC , то диаметр поля зрения POP мы выразим через угол PCP ; половина PCP этого угла называется полудиаметром поля зрения. Из этого В. В. станет ясно, как нужно понимать, когда говорят, что диаметр поля зрения такого-то инструмента равен одному градусу, а другого — двум, и т. д.; или же, если выражать этот радиус в минутах, — то, допустим, $30'$, которые составляют половину градуса, или $15'$, которые соответствуют четверти градуса.

Однако, чтобы правильно судить о достоинствах подозрной трубы или телескопа в том, что относится к полю зрения, нужно принимать также во внимание увеличение, которое дает инструмент; здесь существует общее правило, что, чем большее увеличение дает телескоп или подозрная труба, тем меньше становится их поле зрения,² и это неизбежно; ограничение это поставлено нам самою природой. Представим себе трубу, увеличивающую в 100 раз; очевидно, что ее поле зрения не может быть равно 2° , ибо, поскольку пространство, видимое в трубу, представляется нам увеличенным в 100 раз, оно будет подобно пространству, заключающему в себе 200° , т. е. больше, чем весь небосвод, который от одного края до другого содержит всего 180° ; мы же можем увидеть одновременно не более половины небосвода, т. е. круг, имеющий в диаметре 90° . Итак, В. В. видит, что телескоп, увеличивающий в 100 раз, не может дать нам поле зрения, равное хотя бы 1° , поскольку этот градус, уве-

личный стократно, делается больше, чем 90° ; и потому телескоп, увеличивающий в 100 раз, был бы безупречным, если бы диаметр его поля зрения был несколько менее 1° ; сама природа инструмента не допускает большего.

Однако какой-нибудь другой телескоп или подзорная труба, увеличивающие только в 10 раз, были бы весьма несовершенны, если бы давали поле зрения диаметром всего в один градус, ибо этот градус, увеличенный десятикратно, соответствовал бы лишь 10° в небе; это очень мало, и сильно сузило бы границы обзора; у нас были бы веские причины вовсе отказаться от такого инструмента.

Итак, в том, что касается поля зрения, было бы правильным судить о совершенстве или несовершенстве такого рода инструментов с учетом даваемого ими увеличения. Если труба увеличивает не более чем в 10 раз, вполне можно полагать, что она открывает поле зрения в 9° , поскольку 9° , взятые 10 раз, составляют 90° — столько наши глаза охватить в состоянии. Если же диаметр поля зрения трубы составляет всего 5° или еще меньше, то такой инструмент в любом случае следует считать весьма несовершенным. Я буду иметь честь доказать В. В., что, если бы вздумали делать зрительные трубы описанной мною разновидности, которые давали бы увеличение более десятикратного, такие трубы имели бы вышеупомянутый недостаток: их поле зрения, умноженное на увеличение, было бы намного меньше 90° и не достигало бы даже половины этой величины. Однако при меньших увеличениях недостаток этот не столь ощутим, ибо если труба увеличивает всего в 5 раз, диаметр ее поля зрения соответствует примерно четырем градусам; будучи увеличено в 5 раз, оно охватит пространство в 20° , и этим можно удовлетвориться. Но если бы захотели получить увеличение в 25 раз, диаметр поля зрения составил бы лишь полградуса, которые, будучи взяты 25 раз, дадут всего 12° , что было бы слишком мало. По этой причине, если мы хотим получить большое увеличение, нужно воспользоваться иными сочетаниями линз; я позволю себе описать их в последующем.

13 февраля 1762 г.

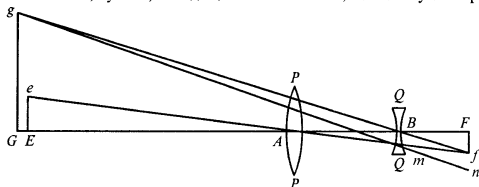
Письмо 207

Определение поля зрения карманной подзорной трубы

Поскольку оценка размеров поля зрения имеет первостепенное значение при конструировании телескопов и подзорных труб, рассмотрим теперь этот вопрос применительно к небольшим зрительным трубам, о которых я уже имел честь рассказывать В. В.

На прилагаемом чертеже линза PAP — объектив, QBQ — окуляр, а прямая EF — ось трубы; на оси, на очень большом удалении, находится объект, видимый в зрительную трубу под углом EAE , составляющим половину поля зре-

ния, потому что это последнее простирается на такое же расстояние вниз от оптической оси. Таким образом, точка E является центром пространства, видимого в телескоп; луч EA , исходящий из этой точки, поскольку он пересекает



обе линзы под прямым углом, не испытывает никакого преломления; поэтому, чтобы этот луч вошел в глаз, нужно, чтобы глаз находился где-нибудь на оси BF трубы, позади окуляра, а зрачок был на прямой BF ; это является общим правилом для всех зрительных труб. Рассмотрим теперь видимую оконечность e объекта, лучи от которого падают на всю площадь линзы-объектива PAP ; однако из их числа достаточно рассмотреть лишь луч EA , проходящий через центр A объектива, поскольку остальные лучи окружают этот луч и, можно сказать, только усиливают его, так что если он попадает в глаз, то и другие или, во всяком случае, большая часть их, попадут тоже, а если этот луч не попадает в глаз, то даже если некоторые другие попадут туда, они слишком слабы, чтобы вызвать в глазу достаточно сильное ощущение. Итак, мы можем установить следующее правило: оконечность e объекта видна только в том случае, если луч eA , пройдя обе линзы, попадает в глаз.

Приняв это во внимание, нужно теперь подробно исследовать путь луча eA . Во-первых, поскольку этот луч проходит через центр A объектива, он не испытывает никакого преломления в соответствии с правилом, установленным вначале, — что лучи, проходящие через центр любой линзы, не отклоняются от своего пути, т. е. не испытывают никакого преломления. Следовательно, луч eA , после того как он прошел через объект, будет продолжать двигаться по прежнему направлению, чтобы сойтись с другими, вышедшими из той же точки e лучами в точке f изображения, представленного объективом в Ff , причем точка f является изображением точки e объекта. Однако этот луч, встретив вогнутую линзу в точке m , находящейся не в центре вогнутой линзы, отклонится от этого направления и вместо того, чтобы достигнуть точки f , пойдет по линии mn , более отклоняющейся от оси BF , потому что вогнутым линзам свойственно всегда делать лучи более расходящимися. Чтобы определить это новое направление mn , пусть В. В. благоволит вспомнить, что линза-объектив представляет нам в Ff объект Ee в перевернутом положении, причем AF равно фокусному расстоянию этой линзы, которая как бы переносит объект

Ee в *Ff*. Изображение *Ff* играет роль объекта для окулярной линзы *QBQ*, которая в свою очередь переносит изображение в *Gg*, причем расстояние *BG* должно быть равно расстоянию до объекта; для этого нужно поместить окуляр таким образом, чтобы отрезок *BF* был равен фокусному расстоянию окуляра.

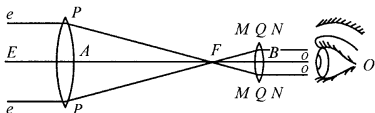
Что касается размеров этих изображений, то граница первого из них, *Ff*, определяется прямой *eAf*, проведенной из *e*, через центр *A* первой линзы, а граница второго, *Gg* — прямой *fBg*, проведенной из точки *f* через центр *B* второй линзы. Отметим это, пойдем дальше. Луч *Am*, направленный к точке *f*, преломляется и выходит из линзы по направлению *mn*; эта прямая *mn*, будучи продолжена в обратном направлении, пройдет через точку *g*, ибо луч *mi* производит в глазу такое же действие, как если бы на самом деле он приходил из точки *g*. Далее, поскольку эта прямая *mn* все более удаляется от оси *BF*, на которой лежит центр зрачка, луч *mi* может попасть в глаз только в том случае, если отверстие зрачка имеет достаточную ширину; а если бы диаметр зрачка вовсе утратил протяженность, луч *mi* не попал бы в глаз. Тогда глаз не смог бы увидеть точку *e* объекта и, более того, никакую другую точку объекта, не находящуюся на оси *AE*; в этом случае никакого поля зрения не существовало бы, и глаз видел бы в зрительную трубу лишь точку *E* объекта, лежащую на оси. Из этого ясно, что такая разновидность зрительных труб открывает нам поле зрения лишь в той мере, в какой раскрыт зрачок; чем шире или уже отверстие зрачка, тем больше или меньше будет поле зрения. В этом случае точка *e* останется видимой глазу, если малый отрезок *Bm* не превышает половины ширины зрачка, т. е. его полудиаметра, чтобы луч *mi* мог войти в зрачок; поэтому нужно приближать зрачок к линзе-окуляру, насколько это возможно, ибо, так как луч *mi* удаляется от оси *FB*, он пройдет мимо зрачка, если отодвинуть глаз далеко от окуляра.

Теперь не трудно будет определить размеры поля зрения, создаваемого такими зрительными трубами на поверхности окулярной линзы: возьмем расстояние *Bm*, равное половине ширины зрачка, и проведем через точку *m* и центр *A* линзы-объектива прямую линию *mAe*; эта линия укажет на объекте крайнюю точку *e*, которая еще будет видна в данную зрительную трубу, а угол *EAe* даст нам полудиаметр поля зрения. Из всего этого В. В. без труда сделает вывод, что, если расстояние между линзами превышает несколько дюймов, угол *BAm* должен стать очень маленьким, ибо расстояние *Bm* составит не более двадцатой доли дюйма. Таким образом, если мы хотим получить большое увеличение, нужно чтобы расстояние между линзами было весьма значительным, а из этого следует, что поле зрения станет чрезвычайно узким. Итак, само устройство наших глаз ставит ограничения для этой разновидности зрительных труб и заставляет нас обращаться к другим их разновидностям во всех тех случаях, когда мы хотим получить значительные увеличения.

Письмо 208

Об астрономических трубах и их увеличении

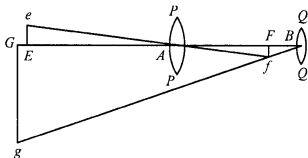
Переходя ко второй разновидности зрительных труб, называемой астрономическими телескопами, а иногда просто «трубами», отмечу, что они имеют по две линзы, так же как и зрительные трубы первой разновидности; однако вместо вогнутого окуляра в них используют выпуклый. Поэтому я начну с того, что познакомлю В. В. с устройством этих астрономических телескопов.



На чертеже объектив PAP является, как и в прочих случаях, выпуклой линзой. Его фокус находится в F ; на той же оси помещают выпуклую линзу QQ меньших размеров таким образом, чтобы ее фокус попадал в ту же самую точку F . Тогда, если глаз будет находиться в точке O , притом что расстояние BO будет приблизительно равно фокусному расстоянию окуляра QQ , мы увидим наши объекты отчетливо и увеличенными во столько раз, во сколько фокусное расстояние AF объектива превосходит фокусное расстояние BF окуляра. Однако следует отметить, что все объекты будут казаться перевернутыми; так, если направить такую трубу на дом, то увидим крышу внизу, а мостовую — вверх. Поскольку эта особенность крайне неприятна, если мы смотрим на земные предметы, которые нам непривычно видеть опрокинутыми, употребление таких инструментов ограничено небесными объектами, относительно коих нам в высшей степени безразлично, в каком положении мы видим их, в прямом или перевернутом. Астроному достаточно знать, что наблюдаемое им в верхнем положении на самом деле находится внизу, и наоборот. Однако ничто не мешает использовать такие инструменты и для наблюдения наземных предметов; за короткое время можно привыкнуть видеть предметы перевернутыми¹ — лишь бы они были видны отчетливо и с хорошим увеличением.

Сделав такое описание, я должен доказать три пункта: во-первых, что при вышеописанном расположении линз объекты должны быть видны отчетливо; во-вторых, что они должны выглядеть увеличенными во столько раз, во сколько фокусное расстояние объектива превосходит фокусное расстояние окуляра, и притом казаться перевернутыми; третий пункт, который необходимо доказать, — это то, что следует не приставлять глаз непосредственно к окуляру, как в зрительных трубах первой разновидности, но отодвинуть его от линзы примерно на ее фокусное расстояние.

1. Что касается первого утверждения, то оно доказывается так же, как и в предшествующем случае. Лучи eP и eP , которые были параллельными до того, как войти в линзу-объектив, собираются благодаря преломлению в фокусе F этой линзы; итак, требуется, чтобы линза-окуляр восстановила параллельность этих лучей, ибо для отчетливого видения необходимо, чтобы лучи, приходящие из каждой точки, были более или менее параллельными, когда они входят в глаз. Окулярная же линза, имеющая фокус в F , установлена таким образом, что, преломив лучи FM и FM , она делает их параллельными и, следовательно, в глаз попадут параллельные лучи No и No .



2. Чтобы доказать второе утверждение, рассмотрим объект, занимающий положение Ee , притом что расстояние EA приближается к бесконечности. Изображение Ff этого объекта, созданное линзой-объективом, будет находиться на фокусном расстоянии AF от линзы; крайняя точка его указывается прямой eAF , проведенной через центр линзы. Это перевернутое изображение Ff служит объектом для окулярной линзы и поскольку оно находится в ее фокусе, то второе изображение снова окажется удаленным на бесконечное расстояние благодаря преломлению во второй линзе и попадет, допустим, в Gg , причем расстояние AG должно рассматриваться как бесконечное — так же, как AE . Для того же, чтобы определить размеры этого изображения, достаточно провести через центр линзы и крайнюю точку f изображения прямую Bfg . Теперь второе изображение является непосредственным зрительным объектом для смотрящего в зрительную трубу; ясно, что оно будет перевернутым, и поскольку оно удалено в бесконечность, то будет видно под углом GBg . Сам же объект Ee невооруженному глазу будет виден под углом EAE , из чего В. В. и без моей подсказки поймет, что безразлично, взять ли точку A или точку B , чтобы получить угол зрения EAE или GBg — по той причине, что объект находится бесконечно далеко. Теперь В. В. видит, что, как и в предыдущем случае, треугольники FAf и FBf можно уподобить секторам круга; при этом отрезок Ff будет дугою того и другого сектора, ибо сами углы столь малы, что мы несколько не ошибемся, заменив дугу хордой. Поскольку радиусами этих двух окружностей являются отрезки AE и BF , из равенства дуг следует, как я доказал выше и притом весьма подробно, что углы FAf (или же EAE) и FBf (или же GBg) находятся между собой в таком же соотношении, что и радиусы BF и

AF . Поэтому угол GBg , под которым объект виден в зрительную трубу, во столько же раз больше угла EAe , под которым он виден простым глазом, во сколько отрезок AF больше отрезка BF , и это является доказательством моего второго утверждения. Третье я вынужден отложить до следующего письма.

20 февраля 1762 г.

Письмо 209

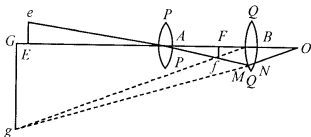
Об их поле зрения и о месте глаза наблюдателя

Мне остается еще выполнить свое обязательство — доказать третье утверждение, касающееся астрономических телескопов; речь идет о местоположении глаза позади окуляра. Замечу, что этот пункт наиболее тесно связан с проблемой поля зрения и что именно оно заставляет нас держать глаз в некотором определенном месте, ибо, если слишком приблизить глаз или отдалить, мы не получим достаточно широкого поля зрения.

Размеры поля зрения имеют крайне важное значение для любой зрительной трубы; поэтому столь же важно точно находить то положение глаза, при котором поле зрения будет наибольшим. Если мы придвинем глаз вплотную к окулярной линзе, то получим поле зрения примерно как в подзорной трубе (*lorgnette*).¹ Такое поле зрения становится недопустимо узким при больших увеличениях. Поэтому важным достоинством астрономических телескопов является возможность до некоторой степени увеличивать поле зрения, отодвигая глаз от окуляра, и именно это свойство делает астрономические телескопы способными на большие увеличения, в то время как возможности зрительных труб первой разновидности весьма ограничены в этом отношении. В. В. уже известно, что увеличение телескопов доводят до двухсоткратного и более, и это дает им поистине бесконечное преимущество перед трубами первой разновидности, которые едва могут дать десятикратное увеличение; не слишком существенный недостаток — опрокинутое изображение — становится несущественным рядом с этим огромным преимуществом.

Теперь я постараюсь в меру своих сил разъяснить В. В. эту важную тему, и большую помощь здесь окажут мои прежние объяснения, касающиеся поля зрения.

1. Объект Ee удален в бесконечность; пусть его крайняя точка e видна в телескоп, линзы коего PAP и QBQ расположены на общей оси $EABO$; нам следует тщательно проследить путь, которым пройдет один только луч от крайней точки e объекта через центр A объектива. В. В., конечно, напомнит, что другие лучи, падающие из точки e на линзу-объектив, только сопровождают и усиливают луч, обозначенный eA , который является для нашего зрения главным.



2. Этот луч EA , пройдя через центр линзы PP , не претерпит никакого отклонения, но продолжит свой путь по прямой AfM и, пройдя через оконечность изображения Ff , достигнет окуляра в точке M ; здесь уместно отметить, что, если бы линза-окуляр не доходила до точки M , этот луч не мог бы попасть в глаз, и точка e осталась бы невидимой. В этом случае крайнюю точку e следовало бы взять ближе к оси, чтобы прямая AfM могла все же попасть на окуляр.

3. Луч AM окажется определенным образом преломленным линзой-окуляром, как именно — проследить не сложно. Нужно рассмотреть второе изображение Gg , хотя оно и удалено в бесконечность; необходимо лишь принять во внимание, что продолжение прямой Bf проходит через оконечность g второго изображения Gg , которое является непосредственным объектом зрения. Поскольку это так, требуется, чтобы преломленный луч пошел по такому пути NO , продолжение которого проходило бы через точку g .

4. Так как прямые ON и BF встречаются в бесконечности в g , они параллельны друг другу; благодаря этому мы получаем наиболее удобный способ определить путь преломленного луча NO : довольно провести его параллельно прямой Bf .

5. Из этого вполне очевидно, что луч NO встречается с осью в некоторой точке O , и поскольку обычно, если увеличение велико, точка F находится значительно ближе к линзе QQ , чем к линзе PP , то расстояние BM будет несколько больше, чем изображение Ff ; поскольку же прямая NO параллельна fB , то отрезок BO будет почти равен BF , т. е. фокусному расстоянию линзы-окуляра.

6. Поэтому, если глаз находится в O , он получит не только лучи, которые приходят из центра E объекта, но также и те, что приходят из его крайней точки e и, значит, также все лучи, приходящие из всех точек объекта; более того, в глаз попадут одновременно лучи BO и NO , даже если зрачок будет крайне сужен. Таким образом, в данном случае поле зрения не зависит от размеров зрачка, если глаз находится в O . Но как только глаз удалится от этой точки, поле зрения должно значительно сузиться.

7. Если бы точка M находилась не на самом краю окуляра, линза пропускала бы лучи еще более удаленные от оси, и тогда телескоп открывал бы еще более широкое поле зрения. Поэтому, чтобы правильно рассчитать, какое поле зрения может давать телескоп, нужно провести из центра A линзы-объектива прямую AM к оконечности M линзы-окуляра; эта прямая, будучи продолжена до объекта, укажет на нем точку e — край видимой части объекта. Следова-

тельно, угол EAe или же $ВAM$ даст нам полудиаметр поля зрения, которое будет тем больше, чем больше размеры окулярной линзы.

8. Итак, если у зрительных труб первой разновидности поле зрения полностью зависит от ширины зрачка, в данном случае оно зависит исключительно от размеров окулярной линзы, что создает очень важное различие между этими двумя разновидностями зрительных труб, и сравнение будет в пользу второй из них.

Тот же чертеж, который я использовал, чтобы доказать свое утверждение относительно места глаза и размеров поля зрения, вполне подходит и для того, чтобы еще лучше разъяснить предшествующие положения.

Пусть В. В. ясно себе представит, что линза-объектив перемещает объект Ee в Ff , а линза-окуляр переносит его из Ff в Gg ; тогда изображение Gg , поскольку оно очень удалено и является непосредственным объектом наблюдения, должно быть видно очень отчетливо, ибо обладателям нормального, т. е. хорошего, зрения требуется большое расстояние, чтобы видеть отчетливо; это и было первым из доказывавшихся положений.

Что касается второго, то прежде всего очевидно, что, коль скоро вместо самого объекта Ee мы видим в телескоп его изображение Gg , оно не будет перевернутым. Кроме того, оно будет наблюдаться глазом, находящимся в O , под углом GOg , (или BON), в то время как самый объект Ee был бы виден невооруженному глазу под углом EAe ; таким образом, телескоп увеличивает во столько раз, во сколько угол BON больше угла EAe . Поскольку же прямая NO параллельна Bf , угол BON равен углу FBf , а угол EAe — вертикальному углу FAf ; поэтому об увеличении можно судить по соотношению между углами FBf и FAf , из которых первый во столько раз больше второго, во сколько отрезок Af , т. е. фокусное расстояние объектива, больше отрезка Bf , т. е. фокусного расстояния окуляра. Вот истинное доказательство тому, что основы геометрии могут быть применены в изысканиях совсем другого рода; надо полагать, В. В. отметит это обстоятельство с большим удовлетворением.

23 февраля 1762 г.

Письмо 210

*Определение увеличения,
даваемого астрономической трубой,
и конструирование таких труб,
увеличивающих объекты в заданное число раз*

Теперь В. В. не только сможет без труда судить о том, во сколько раз увеличивает данный телескоп, но и о том, каким должен быть телескоп, дающий увеличение, какое только мы пожелаем. Чтобы определить увеличение, измеряют фокусные расстояния объектива и окуляра и узнают, во сколько раз

первое превосходит последнее, что делается посредством деления, а частное дает нам увеличение.

Так, если у нас есть телескоп, у которого фокусное расстояние объектива равно двум, а окуляра — одному дюйму, нужно сосчитать, сколько раз 1 дюйм содержится в двух футах; для этого нужно знать, что в футе содержится 12 дюймов, и, таким образом, 2 фута равны 24 дюймам, которые и следует разделить на 1 дюйм. Какое бы число мы ни делили на единицу, частное от деления всегда будет равно самому этому числу; иными словами, если спросят, сколько раз 1 дюйм содержится в 24 дюймах, можно отвечать не задумываясь, что 24 раза. Следовательно, телескоп, о котором идет речь, увеличивает в 24 раза, т. е. он представляет нам отдаленные предметы такими, как если бы они были в 24 раза больше, чем на самом деле; или же, что то же самое, в телескоп они будут видны под углом, в 24 раза ббльшим, чем видно невооруженному глазу.

Рассмотрим другой телескоп, у которого фокусное расстояние объектива равно 32 футам, а окуляра — 3 дюймам; В. В. поймет, что эти линзы должны быть удалены друг от друга на 32 фута 3 дюйма, поскольку во всех астрономических трубах расстояние между линзами равно сумме фокусных расстояний обеих линз, как это было показано в предыдущем письме.

Теперь, чтобы рассчитать, во сколько раз увеличивает этот телескоп, требуется разделить 32 фута на три дюйма, и для этого сначала перевести 32 фута в дюймы, умножив число футов на 12:

$$\begin{array}{r} \times 32 \text{ фута} \\ 12 \\ \hline 64 \\ \hline 32 \\ \hline 384 \text{ дюйма} \end{array}$$

Затем следует разделить эти 384 дюйма на 3:

$$\begin{array}{r} 384 \\ \hline 128 \end{array}$$

Частное 128 указывает нам, что данный телескоп увеличивает в 128 раз; это бесспорно весьма значительное увеличение.

И наоборот, чтобы построить телескоп, увеличивающий в заданное число раз, например в 100 раз, нужно взять две выпуклые линзы, из которых у одной фокусное расстояние в 100 раз больше, чем у другой; первая из них будет объективом, а вторая — окуляром. Затем нужно расположить обе линзы на одной оси так, чтобы расстояние между ними было равно сумме обоих фокусных расстояний; иначе говоря, линзы закрепляют в трубе именно такой длины — и тогда глаз, находящийся позади окуляра на удалении, равном фокусному расстоянию окуляра, увидит предметы увеличенными во 100 крат.

Способов, которыми может быть выполнено изложенное выше условие, бесконечно много. В качестве окуляра можно взять любую линзу и сочетать

ее с объективом, чье фокусное расстояние будет в 100 раз больше. Так, если взять окуляр с фокусным расстоянием в 1 дюйм, то объектив должен иметь фокусное расстояние 100 дюймов, а промежуток между линзами — 101 дюйм. Если же взять окуляр с фокусным расстоянием в 2 дюйма, то объектив должен иметь фокус на расстоянии 200 дюймов, а промежуток между линзами будет 202 дюйма. Если бы взяли окуляр с трехдюймовым фокусным расстоянием, фокусное расстояние объектива должно было бы составлять 300 дюймов, а промежуток между линзами — 303 дюйма. Точно так же, если бы мы захотели взять окуляр с фокусным расстоянием 4 дюйма, объектив должен был бы иметь фокусное расстояние 400 дюймов, а промежуток между линзами — 400 дюймов, и т. д.; длина телескопа при этом становится все больше. Однако если, напротив того, взять окуляр с фокусным расстоянием всего в полдюйма, объектив должен будет иметь фокусное расстояние 100 раз по полдюйма, т. е. 50 дюймов, а промежуток между линзами будет 50 дюймов с половиною, что составит немногим более четырех футов. А если бы взяли окуляр с фокусным расстоянием в четверть дюйма, фокусное расстояние объектива составило бы 100 четвертей дюйма, или 25 дюймов, а промежуток между линзами — 25 дюймов с четвертью, т. е. немногим более 2 футов.

Таковы различные способы создать одно и то же стократное увеличение, и если бы у нас была возможность выбирать, предпочтение В. В., конечно, без колебаний было бы отдано последнему телескопу как самому короткому, у которого труба имеет около 2 футов в длину и с которым, без сомнения, легче обращаться, чем с телескопами, намного более длинными.

Любой предпочел бы без колебаний самые короткие телескопы — при прочих равных условиях, если бы все разновидности телескопов представляли нам объекты с одинаковой степенью совершенства. Однако, хотя все они дают одно и то же увеличение, сами изображения будут иметь различную яркость и отчетливость. Последний из упомянутых выше телескопов, длиною в 2 фута, действительно увеличивает в 100 раз, как и все остальные, но, если посмотреть в такой телескоп, предметы покажутся не только темными, но и плохо очерченными, нечеткими, что несомненно является очень большим недостатком. Предпоследнему телескопу, объектив которого имеет фокусное расстояние 50 дюймов, эти недостатки присущи в меньшей степени, однако расплывчатость и малая яркость изображения все еще остаются за пределами допустимого; эти недостатки уменьшаются по мере того, как мы будем использовать все более широкие объективы, и уже сильно поубавятся, если мы возьмем объектив с фокусным расстоянием 300 дюймов при окуляре с фокусным расстоянием 3 дюйма. Если мы еще увеличим эти размеры, изображение станет еще более четким и ярким, так что в этом отношении длинные телескопы предпочтительнее коротких, будучи, с другой стороны, менее удобными.

Это обстоятельство открывает передо мной новое поприще, где я буду иметь честь разъяснить В. В. еще два очень важных положения теории зрительных

труб. Одно из них относится к яркости видимого изображения, а другое — к его четкости. Если изображение не обладает этими двумя важнейшими достоинствами, любое сколь угодно большее увеличение не дает нам никаких преимуществ.

27 февраля 1762 г.

Письмо 211

О степени яркости изображения

При оценке степени яркости, с которой зрительные трубы представляют нам объекты, я буду руководствоваться теми правилами, которые уже имел честь изложить В. В., когда трактовал этот предмет применительно к микроскопам.

Прежде всего я должен предупредить, что речь пойдет не о той степени яркости, которая присуща самим объектам и может быть очень разной как у различных предметов, которые по природе своей могут быть более яркими или менее, так и у одного и того же предмета — в зависимости от обстоятельств. Один и тот же предмет, когда он освещен Солнцем, дает больше света, чем когда небо покрыто тучами; а ночью его свет и вовсе пропадает. Однако и различные предметы, освещенные одинаково, могут сильно отличаться по яркости в зависимости от того, светло они окрашены или темно (речь идет не о тех лучах, не о той яркости, которая присуща самому объекту). Однако независимо от того, ярок объект или нет, говорят, что зрительная труба представляет объекты в полную яркость, если мы видим их в трубу столь же яркими, как и невооруженным глазом. Ибо, если предмет сам по себе темный, не следует требовать от телескопа, чтобы он представил нам этот предмет ярким.

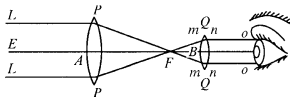
Итак, в том, что касается яркости, зрительную трубу следует считать безупречной, коль скоро она представляет нам объекты столь же яркими, как если бы мы смотрели на них невооруженным глазом. А это (как и в случае микроскопа) происходит тогда, когда лучи, приходящие от всех точек объекта, после того как они прошли через трубу, заполняют собою все отверстие зрачка. Если телескоп дает достаточно лучей, чтобы заполнить ими все отверстие зрачка, большей яркости нельзя и пожелать, и если телескоп будет давать еще больше лучей, это окажется бесполезным, потому что большее количество лучей в глаз все равно не попадет.

Поэтому нужно учитывать главным образом размеры зрачка, а так как они непостоянны, то основываться на них невозможно, если только не приписать отверстию зрачка некие заданные размеры.

Итак, можно вполне удовлетвориться тем, чтобы зрачок в состоянии наибольшего сокращения был заполнен лучами. Обычно диаметр зрачка принимают равным одной линии; 12 линий составляют дюйм. Иной раз довольству-

ются даже половиной этой величины, приписывая зрачку ширину в половину линии, а иногда еще меньше.¹

Если В. В. примет во внимание, что свет Солнца в 300 000 раз превосходит свет Луны,² притом что яркость Луны остается еще весьма значительной, то станет понятно, что небольшое уменьшение яркости предметов не играет заметной роли при наблюдениях. Отметив это, мне остается еще только подвергнуть рассмотрению лучи, передаваемые телескопом в глаз, применительно к размерам зрачка; для этого следует рассмотреть лучи, приходящие из одной лишь точки объекта, например из той, что находится на оптической оси телескопа.



I. Поскольку объект удален на бесконечное расстояние, лучи, падающие от него на линзу-объектив PAP , параллельны друг другу. Поэтому все лучи, приходящие из центра объекта, будут заключены между прямыми LP и LP , параллельными оси EA ; совокупность этих лучей будет называться пучком лучей, падающих на линзу-объектив, и ширина этого пучка равна ширине или зрачку линзы-объектива, диаметр которой — PAP .

II. Преломление в объективе превращает этот пучок лучей в коническую или заостренную фигуру PPF , и, после того как лучи скрестились в фокусе F , пучок образует новый конус mFm , ограниченный линзой-окуляром; очевидно, что основание mn этого конуса во столько же раз меньше ширины пучка PP , во сколько расстояние FB короче расстояния AF .

III. Далее, пройдя через окулярную линзу QBQ , лучи Fm и Fm снова становятся параллельными и образуют пучок лучей no , no , которые входят в глаз и создают в нем изображение той точки объекта, из которой они некогда вышли.

IV. Все сводится теперь к толщине этого пучка лучей no , no , который попадает в глаз, и, если толщина его nn (или oo) больше или равна диаметру зрачка, зрачок будет заполнен лучами, и глаз получит весь свет, какой только возможно, т. е. объект будет виден столь же ярким, как если бы на него смотрели невооруженным глазом.

V. Однако, если толщина nn (или oo) этого пучка будет много меньше диаметра зрачка, очевидно, что в такой же степени более темным станет изображение. Это было бы крупным недостатком зрительной трубы. Для устранения его требуется, чтобы толщина пучка лучей была не меньше половины линии, и было бы еще лучше, если бы она составила целую линию, поскольку эта величина соответствует обычному диаметру зрачка.

VI. Ясно, что толщина этого пучка лучей находится в определенном отношении к ширине первого пучка, и это соотношение нетрудно определить: нужно только узнать, во сколько раз расстояние nn или mn меньше, чем рас-

стояние PP (т. е. диаметр линзы-объектива). Расстояние PP относится к pl так же, как расстояние AF относится к BF ; от этого отношения зависит увеличение. Таким образом, само увеличение указывает нам, во сколько раз пучок $LPLP$ шире пучка $попо$, который входит в глаз.

VII. Итак, поскольку толщина пучка pl или oo должна составлять одну линию, или по меньшей мере половину линии, диаметр линзы объектива должен содержать эту половину линии по крайней мере столько раз, во сколько раз увеличивает телескоп. Так, если телескоп должен увеличивать в 100 раз, диаметр его объектива должен иметь не менее 100 полулиний или 50 линий, что составляет 4 дюйма и 2 линии (поскольку дюйм равен 12 линиям).

VIII. Из этого В. В. поймет, что, для того чтобы изображение не было темным, ширина объектива должна быть тем больше, чем больше увеличение. Следовательно, если линза, которую хотят использовать в качестве объектива, недостаточно велика, зрительная труба не будет давать яркого изображения.

Теперь понятно, что для больших увеличений нельзя пользоваться маленькими объективами, т. е. с чрезмерно малым фокусным расстоянием, — ибо линза, образованная дугами малых окружностей, не может иметь большой диаметр.

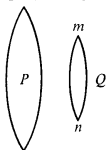
2 марта 1762 г.

Письмо 212

Об отверстиях объективов

В. В. известно теперь, что увеличение определяет размеры линзы-объектива, потребные для того, чтобы объекты были видны достаточно яркими. Это условие касается только размеров или зрачка объектива, однако оно влияет и на фокусное расстояние: чем больше линза, тем большим должно быть и ее фокусное расстояние.

Причина этого очевидна, ибо, для того чтобы сделать линзу с фокусным расстоянием, равным, например, двум дюймам, ее поверхности должны быть дугами окружностей с радиусом, тоже равным примерно двум дюймам; я здесь изобразил две такие линзы, дуги которых описаны радиусом в два дюйма. Линза P , поскольку она более толстая, значительно больше другой линзы Q , но далее я покажу, что толстые линзы имеют свои недостатки, которые настолько существенны, что приходится полностью отказаться от их употребления. Поэтому линза Q более пригодна, ибо ее ограничивают меньшие дуги той же окружности; поскольку ее фокусное расстояние равно двум дюймам, ее ширина или зрачок mn будет несколько меньше одного дюйма. Из этого можно вывести общее правило, что фокусное расстояние всегда должно быть более чем вдвое



больше диаметра линзы, или, иначе, необходимо, чтобы диаметр линзы был меньше половины ее фокусного расстояния.

Отметим, что для стократного увеличения диаметр объектива должен быть более четырех дюймов; из этого следует, что фокусное расстояние должно превышать 8 дюймов. Вскоре я покажу, что двойная мера мала и фокусное расстояние такой линзы должно быть более 300 дюймов. Столь большое фокусное расстояние требуется ради четкости изображения; об этом я поговорю позднее. Здесь же я ограничусь замечанием, относящимся к геометрической форме линзы: диаметр линзы должен быть не больше половины ее фокусного расстояния.

Теперь я остановлюсь немного подробнее на размерах объектива, требуемых, чтобы получить то или иное увеличение; отмечу, во-первых, что, хотя для должной яркости изображения нужна линза с диаметром, равным 4 дюймам, если телескоп должен увеличивать в 100 раз, в астрономических трубах довольствуются линзами в 3 дюйма, поскольку происходящее при этом уменьшение яркости остается малозаметным. Поэтому мастера установили такое правило: чтобы получить стократное увеличение, объектив должен быть трехдюймовым, а для других увеличений — соответственно больше или меньше, в той же пропорции. Так, для 50-кратного увеличения достаточно, чтобы диаметр объектива был равен полутора дюймам, для увеличения в 25 раз — довольно трех четвертей дюйма, и в такой же пропорции — при прочих увеличениях.

Из этого видно, что для малых увеличений годятся объективы очень небольшого диаметра, и поэтому их фокусное расстояние может оставаться весьма умеренным. Однако, если нужно получить увеличение в 200 раз, диаметр объектива должен быть равен 6 дюймам, или половине фута, для чего требуется уже очень большая линза, фокусное расстояние которой должно превышать 100 футов, чтобы изображение получилось четким и ясным. В этом кроется причина того, что большие увеличения требуют столь длинных телескопов, во всяком случае при том обычном расположении линз, которое я имел честь описать В. В. Однако в последнее время пытаются уменьшить эту чрезмерную длину и с немалым успехом.¹ Тем не менее в любом случае размеры объектива должны устанавливаться в соответствии с правилом, изложенным мною выше, ибо от этого неизбежным образом зависит яркость изображения.

Так, если мы захотим сделать телескоп, увеличивающий в 400 раз, его объектив должен будет иметь в диаметре 12 дюймов, или целый фут, сколь малым мы ни сделали бы фокусное расстояние этого объектива. А если бы мы захотели добиться увеличения в 4 000 раз, диаметр объектива должен был бы равняться 10 футам. Такая линза очень велика, слишком велика, чтобы наши мастера могли ее изготовить, и в этом — главная причина того, что мы никогда не сможем добиться столь большого увеличения, если только какой-нибудь могущественный государь не пожелает предоставить средства для изготовления и шлифовки таких больших линз;² и даже в этом случае усилия, возможно, останутся безуспешными.

Между тем телескоп, увеличивающий в 4 000 раз, должен был бы открыть нам в небесах множество чудес; Луна показалась бы нам в 4 000 раз больше, чем мы ее видим невооруженным глазом, иными словами, в точности такую, как если бы она находилась в 4 000 раз ближе к нам, чем на самом деле. Давайте рассчитаем размеры предметов, находящихся на поверхности Луны, которые мы смогли бы увидеть в такой телескоп. Расстояние до Луны определяют в 52 000 немецких миль; одна четырехтысячная этого расстояния составляет 13 немецких миль; поэтому описанный выше телескоп дал бы нам возможность увидеть Луну такую, как если бы она находилась всего в 13 милях от нас, и, следовательно, мы могли бы разглядеть на ней все то, что доступно взгляду на таком расстоянии. Так, стоя на горе, можно видеть другие горы, находящиеся на расстоянии, превышающем 13 миль. Поэтому нет никакого сомнения в том, что мы открыли бы на поверхности Луны много удивительного; однако, для того чтобы решить, населена ли Луна существами, подобными земным, расстояние в 13 миль остается все еще слишком большим. Для такой цели нужно было бы иметь телескоп, увеличивающий еще в 10 раз сильнее, т. е. в 40 000, и объектив его должен был бы иметь 100 футов в диаметре — чего человеческое умение никогда не достигнет. В такой телескоп мы увидели бы Луну, как если бы она была от нас не дальше, чем Берлин от Шпандау,³ и обладатель хорошего зрения вполне мог бы разглядеть на ней людей, если бы они там были, однако не столь отчетливо, чтобы полностью в этом удостовериться.

Поскольку в этом деле мы должны довольствоваться пожеланиями, то я уж пожелаю заполучить сразу телескоп, увеличивающий в 100 000 раз; тогда Луна предстала бы перед нами такую, как если бы она была удалена от нас не более чем на полмили. Диаметр объектива такого телескопа должен был бы равняться 250 футам, и мы получили бы возможность увидеть на поверхности Луны животных, во всяком случае крупных.

6 марта 1762 г.

Письмо 213

О четкости изображения; о зоне рассеяния, возникающей из-за того, что отверстия объективов имеют определенные размеры, которые и рассматриваются как первый источник недостаточной четкости изображения

Четкость изображения — столь важное качество телескопа, что, кажется, превосходит все остальные, о которых я уже имел честь рассказать В. В., ибо каждый согласится, что зрительная труба, в которой изображения предметов видны нечетко, в любом случае нехороша. Поэтому я должен разъяснить при-

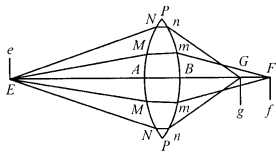
чины этого недостатка четкости, чтобы с тем большим успехом можно было затем искать средства к его исправлению.

Причины эти представляются тем более скрытыми, что основные правила, которые я изложил выше, не открывают нам их источника; в самом деле, вышеупомянутый недостаток четкости проистекает от того, что одно из правил, которыми я пользовался, не вполне справедливо, хотя и отклоняется от истины очень незначительно.

В. В. помнит, наверное: я утверждал в качестве правила, что выпуклая линза собирает в одной точке изображения все лучи, исходящие из одной точки объекта. Если бы это в точности соответствовало действительности, изображения, созданные линзами, были бы столь же четко очерчены, как и сами объекты, и с этой стороны можно было бы не ожидать появления каких-либо неприятностей.

Несовершенство этого правила заключается в следующем: линзы обладают свойством, которое я приписал им, лишь в своей центральной части. Лучи, проходящие через края линзы, собираются в иной точке, нежели те, что проходят через середину, притом что все они падают из одной и той же точки объекта. Поэтому получаются два различных изображения и возникает нечеткость.

Чтобы все это стало вполне очевидным, рассмотрим выпуклую линзу PP , на оси которой находится объект Ee ; точка E , лежащая на оси, посылает лучи EN , EM , EA , EM и EN на поверхность линзы. Направления этих лучей, измененные преломлением, и должны стать предметом нашего внимания.



I. Луч EA , проходящий через центр A линзы, не испытывает в ней никакого преломления и продолжает свой путь в прежнем направлении по прямой ABF .

II. Лучи EM и EM , очень близкие к предыдущему, испытывают незначительное преломление, в результате которого они сойдутся на оси в некоторой точке F , в месте, где надлежит быть изображению Ff , о котором я говорил в своих первых письмах на эту тему.

III. Лучи EN и EN , проходящие дальше от оси линзы, у ее краев NN , испытывают несколько иное преломление, которое сведет их не в точке F , но в другой точке G , более близкой к линзе, и эти лучи построят другое изображение Gg , отличное от первого изображения Ff .

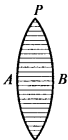
IV. Давайте хорошо запомним обстоятельство, на которое я не обращал внимания раньше: лучи, проходящие через линзу ближе к краям, создают иное изображение Gg , нежели те, что проходят через центральную часть MAM линзы.

V. Если бы лучи EN и EN проходили еще дальше от центра A — через самые края P и P линзы — они сошлись бы еще ближе к линзе и создали бы еще одно изображение, ближе к линзе, чем изображение Gg .

VI. Из всего этого В. В. без труда делает вывод, что первое изображение Ff , которое называют основным или главным, образовано лишь лучами, почти бесконечно близкими к центру A , а лучи, сколько-нибудь отклоняющиеся от центра к краям, создают другое изображение, ближе к линзе, и т. д., и, наконец, лучи, проходящие у краев, создают последнее из изображений — Gg .

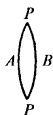
VII. На самом деле совокупность лучей, проходящих через линзу, создает бесконечное количество изображений, расположенных между Ff и Gg ; преломление в линзе приводит к появлению на каждом участке оси особого изображения, так что промежуток между F и G заполнен вереницей изображений.

VIII. Эта последовательность изображений называется также рассеянием изображения;¹ когда все эти лучи попадают затем в глаз, создаваемая ими картина получается смутной, причем в тем большей степени, чем больше будет дистанция FG , по которой распределено изображение; если бы FG сократилось до нуля, можно было бы не опасаться никакой расплывчатости или недостатка четкости.



IX. Чем большую часть окружности будут составлять дуги PAP и PBP , тем больше будет зона диффузии или рассеяния; В. В. поймет из этого, почему нужно отказаться от слишком толстых линз, у которых дуги, образующие поверхность линзы, представляют собою значительную часть окружности, как например у фигуры, изображенной на рисунке, где дуги PAP и PBP составляют четвертую часть окружности, так что каждая содержит 90° ; это сделало бы изображение недопустимо размытым.

X. Поэтому нужно, чтобы дуги, образующие поверхность линзы, содержали значительно менее 90° ;² если они будут содержать 60° , расплывчатость изображения все еще будет недопустимой. Авторы, писавшие на эту тему, соглашались самое большее на дугу в 30° , а есть и такие, кто ограничиваются 20° . Такая линза изображена на следующем рисунке, где дуги PAP и PBP содержат только по 20° , так что каждая из них является всего лишь одной восемнадцатой долей окружности.



XI. Однако, если линза должна служить объективом телескопа, нужно, чтобы дуги PAP и PBP содержали еще намного меньше градусов, ибо если даже рассеяние изображения само по себе неощутимо, при увеличении это рассеяние возрастает во столько же раз, во сколько увеличивается и самый объект. Таким образом, чем больше увеличение, тем меньше градусов должны иметь поверхности линз.

XII. Если телескоп должен увеличивать в 100 раз — В. В. припомнит, должно быть, что объектив должен иметь в диаметре 3 дюйма, а его фокусное расстояние составлять 360 дюймов; это равно радиусу, которым описаны дуги PAP и PBP . Из этого следует, что дуги содержат не более половины градуса каждая. Столь малая мера предписывается требованием чет-

кости изображения; если бы мы захотели получить увеличение в 200 раз, полградуса было бы уже слишком много, и в этом случае величина дуги не должна была бы превышать треть градуса. В то же время эта дуга должна иметь протяженность в 6 дюймов; поэтому радиус окружности должен быть соответственно больше и, следовательно, больше должно быть и фокусное расстояние. Вот подлинная причина того, что большие увеличения требуют столь длинных телескопов.

9 марта 1762 г.

Письмо 214

Об уменьшении отверстия объективов и о других способах уменьшения зоны рассеяния и даже сведении ее на нет

Если зона рассеяния, создаваемая линзой-объективом, слишком велика, то, чтобы нечеткость изображения оставалась в пределах допустимого, ее можно уменьшить. Сделать это легче легкого: приложить к линзе кружок картона с отверстием в центре, чтобы линза могла пропускать только те лучи, которые попадают в это отверстие, а те, что прежде проходили через края линзы, задерживались бы. Поскольку теперь остаются только лучи, прошедшие через центр линзы, зона рассеяния будет тем меньше, чем меньше отверстие; этим способом, уменьшая отверстие, можно сделать зону рассеяния настолько малой, насколько нам это потребуется.

Получается то же самое, как если бы сама линза была не больше отверстия в картоне; поэтому часть линзы, закрытая картоном, становится лишней, и теперь именно размеры отверстия определяют диаметр линзы; таким способом пользуются, чтобы придавать линзам-объективам тот диаметр, который сочтут нужным.

На прилагаемом чертеже перед линзой-объективом PP поставлен кусок картона NN с отверстием MM , и теперь мы скажем, что это отверстие MM является зрачком объектива. Отверстие MM составляет около половины того, которое получилось бы, если убрать картон, и поэтому зона рассеяния стала значительно меньше; можно отметить, что она теперь вчетверо меньше прежней; если сделать отверстие MM еще меньше, не более трети PP , зона рассеяния станет в 9 раз меньше. Таким образом, результат, даваемый этим методом, весьма значителен, и если хоть немного прикрыть края линзы, эффект будет весьма заметным.

Поэтому, если зрительная труба имеет тот недостаток, что объекты представляются не вполне отчетливо, так как вереница изображений, смешиваю-



щихся и налагающихся друг на друга, неизбежно должна сделать картину расплывчатой — в таком случае стоит сузить отверстие линзы-объектива таким вот картоном, и нечеткость непременно исчезнет. Однако при этом возникает другой недостаток, не менее досадный, — уменьшается яркость. В. В. помнит, наверное, что для каждого увеличения требуется объектив определенного диаметра, чтобы он пропускал столько лучей, сколько нужно для обеспечения достаточной яркости. Поэтому очень обидно, что, устраняя один недостаток, мы заменяем его другим. Совершенно необходимо, чтобы хороший телескоп давал достаточно яркое изображение без ущерба для четкости.

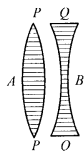
Однако нет ли способа уменьшить или даже вовсе убрать зону рассеяния линз-объективов, не уменьшая их зрачка? Это важный вопрос, который исследуют уже некоторое время; решение его сулит нам большие достижения в диоптрике. Поэтому я буду иметь честь познакомить В. В. с методами, которые были придуманы учеными для достижения этой цели.

Если у лучей, проходящих через центральную часть выпуклой линзы, фокус находится дальше от линзы, чем у лучей, проходящих близ ее краев, то, как было замечено, вогнутые линзы дают противоположный эффект. Это обстоятельство побудило исследовать, нельзя ли сочетать выпуклую линзу с вогнутой таким образом, чтобы зона рассеяния исчезла полностью? И не могла бы подобная составная линза давать такое же увеличение, как и простой объектив? В. В. известно, что мерою для вогнутых линз, так же как для выпуклых, служит их фокусное расстояние — с тою разницей, что фокус у вогнутых линз мнимый и находится впереди линзы, в то время как у выпуклых он действительный и лежит позади них. Отметив это, будем рассуждать следующим образом.

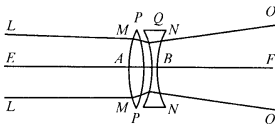
I. Если позади выпуклой линзы PAP поместить вогнутую линзу QBQ с таким же фокусным расстоянием, то лучи, которые выпуклой линзой были бы собраны в ее фокусе, будут преломлены вогнутой линзой так, что они снова станут параллельными друг другу — как было до того, как они прошли через выпуклую линзу.

II. Следовательно, в этом случае вогнутая линза разрушает эффект выпуклой и получается то же самое, как если бы лучи продолжали двигаться своим естественным путем, не испытав никакого преломления, ибо вогнутая линза, поскольку фокус ее лежит в той же точке F , восстанавливает параллельность лучей, которые должны были сойтись в точке F .

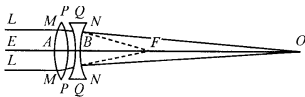
III. Если бы фокусное расстояние вогнутой линзы было меньше, чем выпуклой, ее действие было бы еще сильнее, и она сделала бы лучи расходящимися, как это изображено на прилагаемом чертеже: параллельные падающие лучи LM , EA , LM , пройдя через две линзы, движутся далее по расходящимся направлениям NO , BF , NO . Таким образом, эти две линзы совместно производят такое же действие, как некоторая простая вогнутая линза, которая сообщила бы падающим на нее параллельным лучам такое же расхождение. Таким об-



разом, сочетание двух линз, из которых у вогнутой фокусное расстояние меньше, чем у выпуклой, равноценно одной вогнутой линзе.



IV. Однако если у вогнутой линзы QQ фокусное расстояние больше, чем у выпуклой линзы PP , она окажется недостаточно сильной, чтобы сделать хотя бы параллельными лучи, которые выпуклая линза, взятая отдельно, собрала бы в своем фокусе F ; поэтому лучи эти останутся сходящимися, хотя и в меньшей степени благодаря действию вогнутой линзы, так что вместо того чтобы собраться в F , они соберутся в точке O , более удаленной.



V. Эти две линзы совместно произведут поэтому такое же действие, как одна простая выпуклая линза, фокус которой будет в O , потому что именно такая линза собрала бы параллельные лучи LM , EA , LM в этой точке; из этого ясно, что существует бесконечное количество сочетаний двух линз, из коих одна выпуклая, а другая — вогнутая, притом что их совместное действие будет равноценно эффекту некоей определенной выпуклой линзы.

VI. Такая двойная линза-объектив может поэтому быть использована в телескопе вместо простой, которой она равноценна, и ее эффект в том, что относится к увеличению, будет тем же самым. Но зона рассеяния получится совсем другая; может случиться, что она будет больше или меньше, чем у простого объектива, и в этом последнем случае двойной объектив будет много предпочтительнее простого.

VII. Однако более того: нашли, что можно подобрать такие сочетания из двух линз, когда зона рассеяния исчезнет вовсе, и это, конечно, наиболее благоприятно для совершенствования зрительных труб. Расчеты дают нам эти сочетания, но мастера еще не в той мере искусны, чтобы выполнить подобную работу.

Письмо 215

О составных объективах

Такое сочетание двух линз, с которым я ознакомил В. В., называется сложным объективом; его назначение — собирать в одной точке все лучи — как те, что проходят через центральную часть линзы, так и те, что проходят через ее края, чтобы из них составлялось только одно изображение, без всякого рассеяния, какое дают простые объективы. Если бы мастера преуспели в создании таких устройств, из этого можно было бы извлечь множество преимуществ. О них я и расскажу В. В.

Прежде всего очевидно, что изображения объектов должны стать намного более ясными и четко очерченными, поскольку зрению теперь не мешают множественные изображения, занимающие зону рассеяния, — когда мы имеем дело с простым объективом.

Далее. Эта зона рассеяния является единственной причиной, заставляющей делать фокусные расстояния простых объективов очень большими, чтобы избежать неприятных эффектов, создаваемых такими объективами; пользуясь же сложными объективами, мы более не вынуждены прибегать к этому неудобному приему и можем делать телескопы несравненно более короткие — притом что они дают такое же увеличение.

Если мы хотим получить 100-кратное увеличение при помощи простого объектива, его фокусное расстояние должно быть никак не меньше 30 футов, а длина телескопа становится еще больше из-за окулярной линзы, так как нужно прибавить еще и ее фокусное расстояние. Объектив меньших размеров создает из-за большой протяженности зоны рассеяния изображение недопустимо нечеткое, а длина в 30 футов порождает множество неудобств; кроме того, у мастеров редко получаются хорошие линзы со столь большим фокусным расстоянием. В. В. без труда поймет причину этого: радиус кривизны поверхности такой линзы тоже должен быть тридцатиметровым; описать же с высокой точностью столь большую окружность очень трудно, а малейшее искажение делает всю работу напрасной.

Всех этих неприятностей не следует опасаться при изготовлении сложных объективов, которые могут быть образованы дугами меньших окружностей, если линзам можно придать такой диаметр, какого требует увеличение. Так, чтобы получить увеличение в 100 раз, объектив, как мы уже знаем, должен иметь 3 дюйма в диаметре; вполне возможно сделать сложный объектив, у которого фокусное расстояние будет не более 100 дюймов, а диаметр — больше 3 дюймов. Поскольку же фокусное расстояние окуляра должно быть в 100 раз меньше, оно будет равно 1 дюйму. Расстояние между линзами должно быть равно сумме их фокусных расстояний; значит, длина телескопа составит всего 101 дюйм, т. е. 8 футов и 5 дюймов. Это намного меньше 30 футов.

Однако представляется, что сложный объектив с фокусным расстоянием в 50 дюймов тоже мог бы иметь 3 дюйма в диаметре и даже еще больше; взяв окуляр с фокусным расстоянием в полдюйма, получим то же 100-кратное увеличение, притом что длина телескопа уменьшится вдвое, т. е. примерно до 4 футов и 3 дюймов. Этот телескоп будет создавать такое же увеличение, как и обычный длиной в 30 футов, и ничего лучшего желать не приходится.

Если бы такой сложный объектив оказался удачным, стоило бы лишь удвоить все размеры, чтобы получить другой объектив, диаметр которого мог бы достигать 6 дюймов; при помощи такого объектива можно было бы получить увеличение в 200 раз, воспользовавшись окуляром с фокусным расстоянием в полдюйма, что равно одной двухсотой фокусного расстояния объектива, которое в этом случае будет равно 100 дюймам. Обычный телескоп, увеличивающий в 200 раз, в длину превышает 100 футов, в то время как телескоп со сложным объективом имеет в длину не более 8 футов и очень удобен на практике, тогда как телескоп в 100 футов длиной — это почти совершенно бесполезная громадина.¹

Но можно продвинуться еще много дальше и увеличить размеры еще вдвое, чтобы получить сложный объектив, у которого фокусное расстояние было бы равно 200 дюймам, т. е. 16 футам и 8 дюймам; при таком фокусном расстоянии диаметр линзы может быть доведен до 12 дюймов, т. е. до 1 фута. Тогда, взяв окуляр с фокусным расстоянием в полдюйма, мы, поскольку 200 дюймов содержат 400 раз по полдюйма, получим телескоп, увеличивающий в 400 раз, притом вполне удобный в обращении, ибо в нем будет менее 17 футов длины, в то время как если бы мы захотели получить такое же увеличение при помощи простого объектива, длина трубы должна была бы превышать 300 футов; однако такой телескоп был бы безусловно непригоден для использования по причине своей непомерной длины.

В Париже есть телескоп 120 футов длиной, а в Лондоне — 130 футов, но устанавливать их и направлять на объект неимоверно трудно, и это почти полностью перечеркивает те преимущества, на которые надеялись, строя эти телескопы. Теперь В. В. может судить, насколько важно было бы научиться делать сложные объективы, о которых я говорил.

Несколько лет назад я высказал идею такого объектива, и с того времени искусные мастера в Англии и Франции работают над ее осуществлением;² такая задача требует многих предварительных опытов и большого умения от исполнителей; хотя я с помощью механика нашей Академии³ провел несколько небезуспешных опытов, расходы, которых требует такое предприятие, заставили меня от него отказаться.

Однако в прошлом году Лондонское научное общество⁴ объявило, что весьма искусный мастер по фамилии Доллонд⁵ успешно справился с этой задачей, и теперь все восхищаются его зрительными трубами. В Париже столь же искусный мастер по фамилии Пассман⁶ похвально подобным же достижением. И тот, и другой в свое время оказали мне честь вести со мною переписку по

этому вопросу; но поскольку основная задача заключалась в том, чтобы преодолеть некоторые серьезные затруднения, возникающие в практической работе, — чем я никогда не занимался — то вполне справедливо, что я оставляю им честь этого изобретения. Мне принадлежит лишь теоретическая часть, потребовавшая весьма глубоких изысканий и труднейших расчетов, которые привели бы в ужас В. В. одним своим видом; поэтому я воздержусь от обсуждения этой трудной темы.

16 марта 1762 г.

Письмо 216

О конструировании простых объективов

Чтобы дать все же В. В. некоторое представление о тех исследованиях, которые привели меня к мысли о сложных объективах, я должен начать свой рассказ с того, как делают простые линзы.

Отмечу, что обе поверхности линзы могут быть образованы дугами самых разных окружностей в бесконечном числе сочетаний; сферы, частями которых являются поверхности линзы, могут быть равными или неравными между собой — и при этом, однако, фокусное расстояние может оставаться одним и тем же.

Обычно обеим поверхностям линзы придают одинаковую форму, т. е. (поскольку поверхности линз представляют обычно дугами окружностей) делают обе поверхности с одним и тем же радиусом кривизны. Выбор такой фигуры был, конечно, предопределен удобством исполнения, ибо в этом случае для обработки как одной, так и другой поверхности можно воспользоваться одной и той же металлической чашей, а большинство мастеров располагают лишь малым набором таких чаш.

Представим же себе выпуклую линзу, у которой обе поверхности обработаны одною и той же металлической чашей с радиусом 24 дюйма, так что каждая из поверхностей может быть представлена дугой, радиус которой равен 24 дюймам. Такая линза называется равновыпуклой, и ее фокус будет на расстоянии 24 дюймов, как обычно считают. Но, поскольку положение фокуса зависит от преломления и поскольку преломление не совсем одинаково у разных сортов стекла, между которыми существуют довольно значительные различия — в зависимости от того, насколько светлым и твердым является данное стекло, — то эта оценка фокусного расстояния не является вполне точной. Обычно фокусное расстояние линзы несколько меньше, чем радиус ее поверхностей,¹ — то на одну десятую часть, то на одну двенадцатую. Так, наша линза, у которой радиус каждой из поверхностей равен 24 дюймам, будет иметь фокус на расстоянии примерно 22 дюймов, если она сделана из того же сорта стекла, из которого обычно делают зеркала; правда, и у этого стекла наблюдаются порой некоторые небольшие различия в преломляющих свойствах.

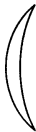
Теперь я отмечу, что, делая поверхности линзы неодинаковыми, можно выточить бесконечное количество различных линз с одинаковым фокусным расстоянием, ибо, если сделать радиус одной из поверхностей меньше 24 дюймов, радиус другой поверхности нужно будет взять больше 24 дюймов в определенном соотношении. Всегда можно взять радиус одной из поверхностей произвольным и по определенному правилу найти, каким должен быть радиус второй поверхности, чтобы фокусное расстояние оставалось таким же, как если бы та и другая поверхность имели радиус 24 дюйма. В нижеследующей таблице представлены несколько таких линз, имеющих одно и то же фокусное расстояние.

Линзы	Радиус I поверхности	Радиус II поверхности
I	24	24
II	21	28
III	20	30
IV	18	36
V	16	48
VI	15	60
VII	14	84
VIII	13	156
IX	12	Бесконечность

В последнем случае радиус одной из поверхностей равен всего 12 дюймам, т. е. половине от 24 дюймов, зато радиус другой поверхности становится бесконечным, или, иными словами, эта поверхность есть дуга бесконечно большой окружности; и, поскольку такая дуга уже не отличается от прямой линии, поверхность эта будет плоской, а линза — плоско-выпуклой.

Если бы мы захотели взять для одной из поверхностей радиус еще меньший, чем 12 дюймов, другую поверхность пришлось бы сделать вогнутой, и линза стала бы выпукло-вогнутой и называлась бы в этом случае мениском. Вот фигуры нескольких менисков:

Мениск	Радиус выпуклой поверхности	Радиус вогнутой поверхности
X	11	132
XI	10	60
XII	9	36
XIII	8	24
XIV	6	12
XV	4	6
XVI	3	4



Таким образом, перед нами еще один, новый вид линз (последняя из которых представлена на прилагаемом рисунке), так что мы имеем теперь 16 различных линз, и у всех у них фокус находится на одном и том же расстоянии, примерно в 22 дюймах или немного дальше или ближе в зависимости от особенностей стекла.

Поэтому если речь идет только о фокусном расстоянии, которым должна обладать линза, то безразлично, какую из приведенных выше фигур захотят ей придать; однако имеются очень большие различия в протяженности зоны рассеяния, создаваемой каждой разновидностью линз. У одних эта зона становится более широкой, у других — более узкой. Если собираются, как обычно, использовать в качестве объектива простую линзу, то безразлично, какую форму ей придать; предпочтительнее будет такая, у которой зона рассеяния самая узкая. Это прекрасное качество несвойственно первой разновидности линз, у которых обе поверхности одинаковы, но в большей или меньшей степени — седьмой, которая обладает тем достоинством, что если обратить к объекту ее более выпуклую сторону, т. е. ту, у которой радиус меньше, то зона рассеяния будет примерно вдвое меньше, чем если бы линза была равно выпуклой с обеих сторон. Поэтому такая форма является наиболее выгодной, и именно ее следует придавать простым объективам; практики с этим согласны.

Отсюда ясно, что, для того чтобы судить о зоне рассеяния той или иной линзы, мало знать ее фокусное расстояние, но нужно знать, к какой разновидности она относится, т. е. радиусы той и другой ее поверхности; кроме того, нужно учитывать, какой стороной она повернута к объекту.

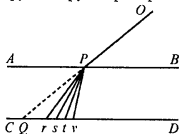
После этого разъяснения я отмечу, что, дабы найти сочетание двух линз, которое не будет давать размытого изображения, непременно нужно учитывать форму каждой из поверхностей каждой из линз, т. е. следует решить такую задачу: какими должны быть радиусы поверхностей обеих линз, чтобы зона рассеяния совсем исчезла? Чтобы решить эту задачу, нужны глубокие исследования с применением высшей математики; но и после того как эта задача будет решена, перед мастером останется еще множество трудностей; он должен будет придать металлическим чашам ту кривизну, какой требуют расчеты, и это еще не все, потому что, пока обрабатывают линзу металлической чашей, чтобы придать ей нужную форму, сама чаша деформируется; поэтому придется время от времени подправлять форму самой чаши и притом с большой точностью; если же все эти предосторожности не соблюдаются, нельзя рассчитывать на успех. Кроме того, очень сложно добиться того, чтобы линза не приняла форму, несколько отличающуюся от формы металлической чаши. Теперь В. В. может судить, как трудно достичь совершенства в этой области, столь важной для диоптрики.

Письмо 217

*Второй источник недостаточной четкости
изображения, создаваемого зрительными трубами.
О различной преломляемости лучей*

В. В. знает теперь, каким способом можно исправить тот недостаток, что лучи, проходящие через края линзы, собираются затем не в той же точке, в которой собираются лучи, проходящие через ее центральную часть, из-за чего получается бесконечное число изображений, распределенных по зоне рассеяния. Однако этот недостаток не единственный, присущий линзам, есть еще и другой, тем более важный, что устранить его представляется невозможным, ибо причина его коренится не в линзах, но в природе самих лучей.

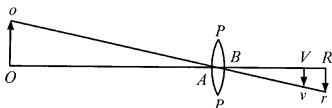
Как, должно быть, вспомнит В. В., лучи очень разнообразны в том отношении, что они вызывают у нас различные цветовые ощущения. Я сравнивал это многообразие с тем, которое мы наблюдаем среди звуков, положив в качестве принципа, что каждый цвет связан с определенным числом колебаний. Но даже если такое объяснение покажется неубедительным, остается несомненным, что лучи различного цвета испытывают разное преломление, переходя из одной прозрачной среды в другую. Так, красные лучи испытывают наименьшее преломление, а фиолетовые — наибольшее, хотя различие это почти незаметно. Прочие же цвета — оранжевый, желтый, зеленый и синий — по степени преломления находятся между этими двумя крайними. Нужно отметить также, что белый является смесью всех этих цветов, которые отделяются друг от друга при преломлении.



В самом деле, когда направляют падающий наклонно белый луч OP или же луч Солнца на кусок стекла $ABCD$, то, вместо того чтобы продолжить свое движение по прежнему направлению PQ , луч не только отклоняется от него, но и распадается на несколько лучей Pr , Ps , Pt , Pv , из которых первый, Pr , отклонившийся в наименьшей степени, будет красного цвета, а последний, Pv , наиболее отклонившийся — фиолетовым. Зона рассеяния rv получится намного меньше, чем это изображено на рисунке, однако расхождение лучей становится все более заметным по мере их продвижения.

Это различие в преломляемости лучей в зависимости от их цвета порождает, если речь идет о линзах, следующие явления.

I. Пусть PP будет выпуклой линзой, на оси которой на очень большом расстоянии AO находится объект Oo ; нам нужно определить его положение и размеры, отвлекаясь в данном случае от первой из неправильностей, возникающих вследствие рассеяния, или, что то же самое, рассматривая только те



лучи, которые проходят через центральную часть линзы AB , как если бы края ее были прикрыты картоном.

II. Предположим теперь, что объект Oo — красного цвета, так что и все лучи его имеют то же свойство. Линза построит в определенном месте изображение Rr , тоже красное; мы назовем точкой R фокус красных лучей, т. е. таких, которые претерпевают наименьшее преломление.

III. Однако если объект Oo — фиолетовый, то, поскольку лучи этого цвета испытывают самое сильное преломление, изображение Vv будет ближе к линзе, чем описанное выше изображение Rr . Точку V назовем фокусом фиолетовых лучей.

IV. Если бы объект был окрашен в какой-нибудь другой цвет, промежуточный между красным и фиолетовым, изображение попало бы между точками R и V и тоже было бы вполне отчетливым; его ограничивала бы прямая oB , проведенная из оконечности o объекта через центр линзы. Это общее правило для лучей любого цвета.

V. Однако, если цвет объекта не чистый, как это бывает почти всегда, или если объект Oo — белый (а белый — это смесь всех цветов), тогда различные разновидности лучей будут разделены преломлением, и каждая создаст отдельное изображение. То, которое образовано красными лучами, окажется в Rr , то, что образовано фиолетовыми, — в Vv , а все пространство RV будет заполнено изображениями, имеющими промежуточные цвета.

VI. Итак, линза PP будет создавать бесконечное число изображений любого объекта Oo ; эти изображения будут располагаться на небольшом отрезке PV и самое удаленное от линзы — Rr — будет красным, а самое близкое — Vv — фиолетовым. Изображения, промежуточные между этими двумя, будут промежуточных цветов в той же последовательности, какую мы наблюдаем в радуге.

VII. Каждое из этих изображений по отдельности будет вполне четким, и все они будут ограничены линией $oBvr$, проведенной из оконечности o объекта через центр B линзы. Но если увидеть их все одновременно, общая картина получится весьма смутной.

VIII. Таким образом, появляется еще одна зона рассеяния, как и в случае первой неправильности, описанной ранее, но она отличается от предыдущей тем, что не зависит от диаметра линзы, и тем, что каждое изображение окрашено в свой особый цвет.

IX. Эта зона рассеяния RV зависит от фокусного расстояния линзы и составляет всегда примерно одну двадцать восьмую часть последнего. Так, если фокусное расстояние линзы PP равно 28 футам, расстояние RV становится

равным целому футу; следовательно, расстояние между красным изображением Rr и фиолетовым Vv равно одному футу. Если бы фокусное расстояние было вдвое больше, т. е. равно 56 футам, расстояние RV достигло бы 2 футов, и т. д.

Х. Поэтому оценка фокусного расстояния линзы становится приблизительной, ибо лучи каждого цвета имеют свой отдельный фокус, и, говоря о фокусе какой-либо линзы, следовало бы всегда уточнять, лучи какого цвета имеются в виду. Обычно, однако, подразумевается фокус лучей со свойствами, промежуточными между красным и фиолетовым, что соответствует зеленому цвету.

XI. Таким образом, когда говорят без дальнейших уточнений, что фокусное расстояние такой-то линзы равно, например, 56 футам, нужно понимать так, что на этом расстоянии находится зеленое изображение. Красное изображение будет примерно на фут дальше, а фиолетовое — на фут ближе.

Вот еще одно важное обстоятельство, которое нужно иметь в виду, когда речь идет о диоптрических приборах.

23 марта 1762 г.

Письмо 218

О способе устранения этого недостатка с помощью использования объективов, составленных из стекла и воды

Этот новый род рассеяния (или множественности изображений),¹ порожденного различной преломляемостью лучей, из-за того что они разного цвета, необходимо отличать от описанного ранее, когда рассеяние имело причиной протяженность поверхности линзы, и то, что лучи, проходящие близ ее краев, создают иное изображение, чем те, которые проходят через ее центральную часть. Следовательно, этот новый недостаток нужно исправлять совсем иными способами, нежели первый.

Пусть В. В. соблаговолит вспомнить, что я предложил два способа исправлять первый недостаток; один из них — это удлинять фокусное расстояние, чтобы уменьшить кривизну поверхностей линзы. Этот метод приводит к необходимости делать телескопы непомерно длинными в тех случаях, когда требуется большое увеличение. Другое средство состоит в том, чтобы сочетать две линзы — выпуклую и вогнутую — с целью сгладить различия в преломлении таким образом, чтобы все лучи, прошедшие через линзы, собирались в одной точке и зона рассеяния исчезла бы.

Однако ни то, ни другое средство не может оказать нам никакой помощи против нового недостатка, вызванного различной преломляемостью лучей. Более того, первое из этих средств дает противоположный результат, ибо, чем

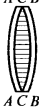
больше увеличиваем мы фокусное расстояние, тем больше становится пространство, по которому распределяются окрашенные изображения. Сочетание двух и более линз тоже не помогает; было найдено как опытным путем, так и теоретически, что разного цвета изображения останутся всегда раздельными при любом количестве линз, через которые будут пропущены лучи, и расстояние между этими изображениями будет тем больше, чем большее увеличение должна давать зрительная труба.

Это обстоятельство столь обескуражило великого Ньютона, что он отчаялся избавиться от упомянутого выше недостатка, который он считал совершенно неизбежным для любых диоптрических приборов, где наблюдения ведутся в преломленных лучах. По этой причине он решил полностью отказаться от преломления и использовать зеркала вместо линз-объективов, поскольку отражаются все лучи одинаково; эта идея подарила нам великолепные телескопы-рефлекторы, поразительные свойства которых вызывают всеобщее восхищение. О них я расскажу особо в другом месте, после того как изложу все, что относится к приборам, построенным на принципе преломления.

Когда я убедился, что сочетанием нескольких линз невозможно устранить последствия различной преломляемости лучей, я понял, что причина этого явления коренится в единстве закона преломления для любых разновидностей линз; мне пришло в голову, что если бы можно было использовать другие прозрачные вещества, где преломление лучей достаточно сильно отличается от преломления в стекле, то вполне возможно было бы сочетать какое-нибудь из этих веществ со стеклом таким образом, чтобы все лучи всех цветов собирались вместе, создавая одно-единственное изображение, и не было зоны рассеяния. Затем я обдумал эту идею более тщательно и нашел способ делать объективы, состоящие из стекла и воды² и вовсе не дающие тех эффектов, которые получаются вследствие разной преломляемости лучей. Такие объективы, следовательно, должны давать столь же хорошие результаты, как и зеркала Ньютона.

АСВ Я осуществил эту идею при помощи двух менисков или вогнуто-выпуклых линз *AACC* и *BBCC*, которые я соединил вогнутыми поверхностями, и заполнил водой пустое пространство, остававшееся между ними, так что лучи, вышедшие из линзы *AACC*, должны пройти через воду, находящуюся между двумя линзами, прежде чем выйти через другую линзу *BBCC*. Таким образом, каждый луч испытывает преломление четырежды: первый раз — входя из воздуха в линзу *AACC*, второй — при переходе из этой линзы в воду, третий — при переходе из воды во вторую линзу *BBCC* и четвертый — выходя из этой линзы в воздух.

В этом случае необходимо рассматривать все четыре поверхности этих двух линз; я нашел способ так рассчитать их полуdiamетры, что лучи любого цвета, претерпев четырехкратное преломление, соберутся в одной точке, и различная преломляемость не будет теперь вести к множественности изображений.



Эти составные объективы, состоящие из двух линз и воды, поначалу чрезмерно страдали первым недостатком — тем, что лучи, проходящие близ края линзы, образуют другой фокус, нежели те, что идут через центр; однако после очень трудных изысканий я нашел способ так соразмерить радиусы четырех поверхностей, чтобы эти составные объективы избавились разом от недостатков как первого, так и второго рода. Но для этого необходимо было столь точно соблюдать все величины, предписываемые расчетом, малейшее отклонение от которых сводило на нет все ожидаемые достоинства, что я перестал упорствовать в изготовлении таких объективов.

Кроме того, этот метод мог бы устранить недостатки только линз-объективов, а окулярная линза по-прежнему давала бы не менее неприятные эффекты, которые нельзя устранить вышеизложенным способом. К тому же телескопы нередко делают с несколькими окулярами, о чем я буду иметь честь подробнее написать далее, и поэтому мы выиграли бы не так уж много, уделив столько внимания и тщания объективу и пренебрегая другими линзами — хотя бы их действие и было менее заметным по сравнению с линзами объектива.

Хотя эти исследования стоили мне немало трудов, я должен сказать откровенно, что теперь полностью отказываюсь от конструирования объективов, состоящих из линз и воды; не только потому, что их очень трудно сделать, но и потому, что в дальнейшем я нашел другие способы — не уничтожать последствия различной преломляемости лучей, но сделать их незаметными, о чем я буду иметь честь рассказать В. В. в следующем письме.

27 марта 1762 г.

Письмо 219

О другом, более практичном способе уменьшения этого дефекта

После того как телескопы-рефлекторы получили всеобщее признание, все принялись так бранить телескопы-рефракторы, что можно было подумать — они не заслуживают другой участи, как быть полностью отвергнутыми. Поэтому ими с того времени никто не занимался, в твердой уверенности, что любые попытки усовершенствовать их будут бесплодными, ибо великий Ньютон показал, что нежелательные эффекты, вызванные различной преломляемостью лучей, совершенно неотделимы от самой конструкции телескопов-рефракторов. Согласно этому мнению, любые из этих телескопов могут представлять нам наблюдаемые объекты лишь с недопустимыми искажениями, тем более грубыми, чем больше увеличение. Однако, хотя и встречаются телескопы, обладающие этим недостатком в сильнейшей степени, бывают и другие, очень хорошие, ничуть не уступающие телескопам-рефлекторам, столь превозносимым. Это, несомненно, весьма парадоксально, так как если бы причина не-

достатка, в котором упрекают телескопы-рефракторы, была объяснена верно, то нельзя было бы найти ни одного телескопа, свободного от этого недостатка. Поэтому исключения, в существовании которых нас убеждает опыт, заслуживают самого пристального внимания.

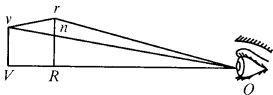
Итак, нужно исследовать истинную причину того, почему некоторые телескопы-рефракторы представляют нам объекты четко, в то время как другие в высокой степени подвержены тому недостатку, который возникает из-за различной преломляемости лучей. Я надеюсь, что нашел причину этого явления, и изложу ее В. В. в следующих рассуждениях.

I. Совершенно очевидно, что линза-объектив дает бесконечное количество изображений объекта, которые последовательно располагаются по зоне рассеяния, и каждое из них окрашено в свой цвет, как я обосновал это в предыдущем письме.

II. Каждое из этих изображений становится объектом для линзы-окуляра, которая строит изображение каждого из этих изображений по отдельности, окрашенное в присущий ему цвет, так что глаз наблюдателя, смотрящего в телескоп-рефрактор, видит множество изображений, располагающихся в определенном порядке, в соответствии с тем, как лучи преломляются в линзах.

III. Если вместо линзы-окуляра взять несколько линз, произойдет то же самое: вместо одного изображения телескоп представит глазу бесконечное количество изображений, каждое из которых соответствует объекту, но окрашено в какой-нибудь цвет.

IV. Рассмотрим эти изображения, представленные зрительной трубой глазу наблюдателя, находящемуся в точке O . Пусть Rr будет красное изображение, Vv — фиолетовое, а все остальные лежат между этими двумя в порядке, соответствующем преломляемости лучей того или иного цвета. Я не стал рисовать линзы телескопа, поскольку речь идет лишь о том, как видит глаз эти изображения. Нужно только, чтобы расстояние от глаза O до этих изображений было очень большим.



V. Все эти изображения (Rr , Vv и промежуточные между ними) находятся на оси ORV телескопа и ограничены некоей прямой линией rv , которую называют ограничивающей линией всех изображений.

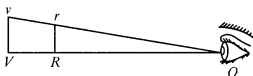
VI. Как я представил это на чертеже, глаз, находящийся в O , видит красное изображение Rr под углом ROr — он больше угла VOv , под которым видно фиолетовое изображение Vv . Следовательно, фиолетовые лучи, идущие от изображения Vv , смешиваются в глазу с красными, идущими от участка Rn красного изображения Rr .

VII. Поэтому глаз не может увидеть фиолетовое изображение иначе, как в смешении с лучами других цветов, соответствующими, однако, другим участкам объекта. Так, точка n красного изображения попадает на то же место в глазу, что и крайняя точка v фиолетового. Это делает изображение очень нечетким.

VIII. Поскольку луч rO не будет смешиваться с другими лучами, видимая глазу окончечность изображения окажется красной, так что изображение будет окружено красной каймой, которая будет сливаться с соседней каймой следующего по порядку цвета, и т. д. — все цвета последовательно один за другим; поэтому объект предстанет окаймленным радужной полосой. Это, действительно, весьма обычный недостаток диоптрических труб; однако некоторые из них подвержены ему в меньшей степени, чем другие.

IX. Если бы самое большое из изображений Rr было фиолетовым, а Vv — красным, смешение цветов все равно оставалось бы столь же недопустимым единственно с той разницей, что контуры объекта казались бы окаймленными фиолетовой каймою вместо красной.

X. Нечеткость изображения зависит, следовательно, от положения ограничивающей линии rV относительно линии VO и от их расхождения, которое может иметь место. Из этого следует, что нечеткость в некоторых случаях будет больше, в других — меньше.



XI. Рассмотрим теперь случай, когда описанные выше изображения, созданные телескопом, располагаются так, что ограничивающая прямая vr , если ее продолжить, достигнет глаза. В этом случае глаз увидит на одной прямой vrO все крайние точки изображений; вообще, все точки изображений, соответствующие какой-либо точке объекта, будут передаваться в глаз одним и тем же лучом и, следовательно, будут видны отчетливо.

XII. Следовательно, в этом случае, несмотря на множественность изображений, глаз увидит объект отчетливо, и различные участки объекта не будут налагаться друг на друга, как это было в случае, описанном выше. Эта удачная ситуация имеет место тогда, когда ограничивающая линия vr , будучи продолжена, проходит через то место, где находится глаз.

XIII. Поскольку положение крайних изображений Rr и Vv зависит от того, как располагаются окулярные линзы, то, чтобы избавить телескопы от недостатка, который ставят им в упрек, достаточно подобрать и расположить эти линзы так, чтобы ограничивающая линия крайних изображений проходила через глаз наблюдателя. Телескопы, в которых это условие выполняется, будут безупречными.

Письмо 220

*Перечень всех качеств,
которыми должна обладать
хорошая зрительная труба*

Собрав воедино все приведенные мною выше разъяснения, В. В. охотно согласится, что зрительная труба, безупречная во всех отношениях и не имеющая никаких недостатков, — большая редкость и ценность, ибо необходимо принимать во внимание множество обстоятельств, каждое из которых существенно влияет на ее устройство. Поскольку труба должна обладать многими достоинствами, то, чтобы ни одно из них не ускользнуло от нашего внимания, стоит представить их В. В. все вместе.

I. Первое из достоинств зрительной трубы — увеличение, которое она дает; чем сильнее труба увеличивает объекты, тем, без сомнения, она совершеннее — если только она обладает и всеми прочими качествами. Об увеличении же судят по тому, во сколько раз диаметр объектов представляется большим, чем при наблюдении невооруженным глазом. В. В. припомнит, должно быть, что телескопы с двумя линзами увеличивают во столько раз, во сколько фокусное расстояние объектива больше, чем окуляра. Рассчитать увеличение телескопа со многими линзами — сложнее.

II. Второе достоинство хорошей зрительной трубы — это яркость изображения. Любая труба будет несовершенной, если она представляет нам объекты темными, как в облачный день. Дабы избежать этого недостатка, нужно, чтобы линза-объектив имела большой зрачок, диаметр которого диктуется увеличением. Мастера-оптики установили такое правило: чтобы получить увеличение в 300 раз, диаметр объектива должен быть равен трем дюймам,¹ а для любого иного увеличения — пропорционален этому отношению. Если же объекты светятся ярко, то полезно придать объективу еще большие размеры, чем требует это правило.

III. Третье достоинство — четкость или чистота изображения. Для этого нужно, чтобы лучи, проходящие через края линзы, собирались в той же точке, что и лучи, проходящие через ее центральную часть, или, по крайней мере, чтобы абберация была незаметной. Когда пользуются простым объективом, нужно, чтобы его фокусное расстояние превышало определенную величину, которая устанавливается в зависимости от увеличения. Так, если мы хотим получить увеличение в 100 раз, фокусное расстояние объектива должно составлять по меньшей мере 30 футов; поэтому именно необходимость четкости изображения заставляет нас делать зрительные трубы столь непомерно длинными, когда требуется очень большое увеличение. Для того чтобы избежать вышеупомянутого неудобства, можно пользоваться объективом из двух линз, и если мастера научатся делать такие объективы, то можно будет весьма зна-

чительно укоротить зрительные трубы, сохранив то же увеличение. В связи с этим В. В., должно быть, соблаговолит вспомнить то, что я имел честь писать на эту тему, притом весьма пространно.²

IV. Четвертое достоинство тоже относится к чистоте изображения — к тому обстоятельству, что оно может оказаться испорченным из-за различной преломляемости лучей, различающихся по цвету. Я показал, каким способом можно избавиться от этого недостатка; поскольку невозможно собрать изображения, построенные лучами разного цвета, в одно, нужно расположить линзы определенным образом, о чем я писал в моем предыдущем письме, т. е. так, чтобы линия, ограничивающая эти изображения, проходила через глаз. В противном случае у зрительной трубы будет тот недостаток, что показываемые ею предметы будут окружены радужной каймою; этот недостаток исчезает, если линзы устанавливают, как описано выше. Для этого нужно иметь более двух линз, чтобы была возможность разместить их так, как полагается. До сих пор я вел речь только о зрительных трубах, составленных из двух линз, из которых одна — объектив, а другая — окуляр; В. В. знает, что расстояние между ними задано уже их фокусными расстояниями и мы не властны что-либо изменить. Однако, к счастью, бывает так, что ограничивающая линия, о которой я говорил, проходит более или менее точно через глаз наблюдателя; тогда радужная расцветка изображения становится малозаметной, в том случае если предварительно был исправлен первый из описанных недостатков и особенно если увеличение не слишком велико. Однако для очень больших увеличений полезно воспользоваться двумя линзами-объективами, чтобы полностью избавиться от радужной расцветки, ибо при больших увеличениях мельчайшие дефекты, будучи соответственно увеличены, приобретают размеры недопустимые.

V. Пятое и последнее качество хороших зрительных труб — это широкое поле зрения, т. е. пространство, открываемое нам зрительной трубой единовременно. В. В. помнит, наверное, что маленькие карманные лорнеты с вогнутым окуляром имеют недостаток — малое поле зрения, и это делает их непригодными для больших увеличений. Другая разновидность зрительных труб — с выпуклым окуляром — менее подвержена этому недостатку, но поскольку они представляют нам предметы перевернутыми, то трубы первой разновидности следовало бы решительно предпочесть — если бы только они давали более широкое поле зрения. Размеры же поля зрения зависят от диаметра линзы-объектива, и В. В. легко поймет, что размеры ее нельзя увеличивать произвольно, так как они уже определены фокусным расстоянием линзы. Был найден способ увеличить поле зрения, используя две, три или даже много окулярных линз. Вот еще одна причина, по которой, для того чтобы сделать зрительную трубу, превосходную во всех отношениях, требуется множество линз.

К перечисленным выше достоинствам можно было бы добавить еще одно: изображение не должно быть перевернутым, как в астрономических

трубах. Этот недостаток, если только он мешает, нетрудно устранить, добавив еще две окулярные линзы, о чем я буду иметь честь рассказать в следующем письме.

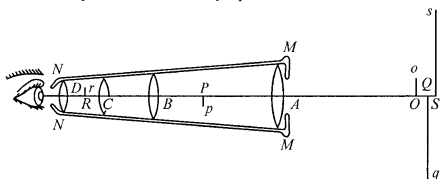
3 апреля 1762 г.

Письмо 221

О подозрных трубах с четырьмя линзами для наблюдения земных объектов

Я надолго остановился на зрительных трубах, составленных из двух выпуклых линз; они известны под названием астрономических труб, поскольку их применяют в основном для наблюдения светил.

В. В. поймет без труда, почему использование этих инструментов, сколь бы они ни были совершенны, ограничивается только небесными объектами. Причина в том, что они представляют нам объекты перевернутыми, и это становится поистине крупным недостатком, если мы намерены наблюдать земные предметы, которые нам хотелось бы видеть в их естественном положении. Вскоре после того, как были построены телескопы этого типа, нашли способ исправить вышеупомянутый недостаток, удваивая, если можно так выразиться, самый телескоп. Ибо поскольку пара линз опрокидывает объекты, или, иначе, представляет нам их перевернутые изображения, нам остается только рассматривать эти изображения через еще одну зрительную трубу, состоящую из двух линз, — чтобы перевернуть объекты еще раз, и тогда, на этом втором изображении, они предстанут перед нами в своем естественном положении. Так возникает еще одна разновидность телескопов — составленные из четырех линз; их называют «земными телескопами», поскольку они предназначены для наблюдения земных предметов. Вот их устройство.



I. Четыре линзы A, B, C, D , заключенные в трубу $MMNN$, составляют вышеозначенный телескоп. Первая из линз, A , обращенная к объекту, называется объективом; три другие — B, C, D — окулярами. Все эти четыре линзы —

выпуклые. Глаз должен находиться у оконечности трубы, на определенном расстоянии от последнего окуляра D ; как рассчитать это расстояние, я объясню в дальнейшем.

II. Рассмотрим, каким должен быть эффект каждой из линз, когда объект Oo , на который мы смотрим в телескоп, находится на очень большом расстоянии. Сначала линза-объектив представит изображение Pp этого объекта на своем фокусном расстоянии, протяженность которого определяется прямой линией, проведенной из крайней точки o объекта через центр линзы A ; эта линия не изображена на рисунке, чтобы не перегружать его обилием линий.

III. Изображение Pp является объектом для второй линзы B , которую устанавливают так, что промежуток BP равен ее фокусному расстоянию, — с тем, чтобы вторая линза создавала изображение, удаленное в бесконечность, например в Qq . Оно будет перевернутым, как и первое изображение Pp , и ограничено прямой линией, проведенной из центра линзы B через крайнюю точку p изображения.

IV. Расстояние AB между двумя первыми линзами, таким образом, равно сумме их фокусных расстояний; если бы глаз находился позади линзы B , мы получили бы астрономическую зрительную трубу; наблюдая в нее, мы могли бы видеть объект Oo в Qq , следовательно, перевернутым и увеличенным во столько раз, во сколько расстояние AP превосходит расстояние BP . Однако вместо глаза позади линзы B располагают на определенном расстоянии от нее третью линзу C , для которой изображение Qq является объектом, ибо на эту линзу действительно попадают лучи от изображения Qq . Поскольку это последнее находится на очень большом расстоянии, линза C представит изображение этого изображения на расстоянии, равном ее фокусному расстоянию Rr .

V. Далее, поскольку изображение Qq было перевернутым, новое изображение Rr будет прямым; его будет ограничивать прямая, проведенная из крайней точки Q через центр линзы C . Она пройдет через точку r . Следовательно, три линзы — A , B и C — действуя совместно, построят изображение объекта Oo в Rr , и это изображение будет прямым.

VI. Остается, наконец, установить последнюю линзу D таким образом, чтобы расстояние DR было равно ее фокусному расстоянию; эта линза удалит изображение Rr в бесконечность, в Ss ; положение его крайней точки s будет определяться прямой, проведенной из центра линзы D через крайнюю точку r предыдущего изображения, и глаз, находящийся позади этой линзы, увидит изображение Ss вместо самого объекта Oo .

VII. Основываясь на изложенном выше, нетрудно рассчитать, во сколько раз должна увеличивать объект такая труба, состоящая из четырех линз; для этого достаточно подвергнуть рассмотрению две пары линз — A и B , C и D . Каждая из этих пар по отдельности могла бы служить телескопом. Первая пара, A и B , увеличивает во столько раз, во сколько фокусное расстояние первой линзы превосходит фокусное расстояние второй линзы B ; во столько раз изображение Qq , созданное этой парой линз, больше, чем сам объект Oo .

VIII. Затем, поскольку это изображение Qq является объектом для другой пары линз, C и D , оно в свою очередь будет увеличено еще во столько раз, во сколько фокусное расстояние линзы C больше, чем линзы D . Эти два увеличения, вместе взятые, составляют общее увеличение, даваемое совокупностью четырех линз.

IX. Так, если первая пара линз, A и B , увеличивает в 10 раз, а вторая пара, C и D — в 3 раза, то весь телескоп даст увеличение в 3 раза по 10, т. е. в 30 раз. Зрачок линзы-объектива должен соответствовать этому увеличению, согласно правилу, которое я приводил выше.

X. Из этого В. В. может заключить, что, если снять с «земного телескопа» две последние линзы C и D , получим астрономическую трубу, а пара линз C и D составляет еще одну такую трубу, так что обычная подзорная труба состоит из двух астрономических, и, наоборот, две астрономические трубы, соединенные вместе, образуют одну подзорную трубу для наблюдения земных объектов.

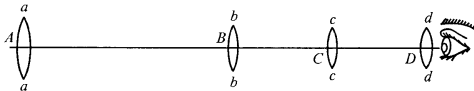
Такое устройство допускает многочисленные варианты, из коих одни предпочтительнее других, как я буду иметь честь показать далее.

6 апреля 1762 г.

Письмо 222

О расположении стекол в этих подзорных трубах

В. В. знает теперь, как, добавив к астрономической трубе еще две выпуклые линзы, получают «земной телескоп», который дает изображения предметов в прямом положении. Четыре линзы, из которых составлен «земной телескоп», могут быть подобраны в бесконечном количестве сочетаний. Это относится и к расстояниям между ними, и к их фокусным расстояниям. Я расскажу об основных таких сочетаниях.



I. Что касается расстояния между линзами, то я уже отмечал, что расстояние между первыми двумя (A и B) — это сумма их фокусных расстояний, так же как и расстояние между двумя другими линзами C и D ; и та, и другая пара может рассматриваться как простая зрительная труба, составленная из двух выпуклых линз. Но каким должно быть расстояние BC между двумя средними линзами B и C ? Можем ли мы устанавливать его произвольно? Ведь ясно, что независимо от этого расстояния увеличение останется тем же, поскольку оно зависит только от увеличения, даваемого каждой парой линз по отдельности.

II. Основываясь только на опыте, мы скоро заметим, что, если сильно сблизить две средние линзы, поле зрения очень суживается и что то же происходит, если сделать расстояние между средними линзами слишком большим. В том и другом случае, направив трубу на какой-нибудь объект, мы увидим лишь очень малую его часть.

III. Поэтому мастера оптики пользуются таким методом: они приближают заднюю пару линз к передним или отдалчают, пока поле зрения не станет наибольшим; найдя такое положение, закрепляют линзы. Так вот, они заметили, что при наиболее выгодном расположении линз расстояние BC между средними линзами всегда больше суммы фокусных расстояний этих линз B и C .

IV. В. В. понимает, конечно, что это расстояние — отнюдь не случайное, но вытекает из теории и рассчитать его теоретически можно гораздо точнее, чем получить из опыта. Долг физика — отыскать причину всех явлений, открываемых нам опытом. Поэтому я изложу те принципы, которые позволяют нам рассчитать самое выгодное расстояние между двумя средними линзами.



V. Поскольку все лучи должны попадать в глаз, рассмотрим путь луча, который, двигаясь от оконечности o наблюдаемого объекта, проходит через центр A линзы-объектива; ибо, если этот луч не достигает глаза, оконечность o не будет видна. Этот луч не испытывает никакого преломления в объективе, поскольку проходит через его центр A . Поэтому он продолжит свой путь по прямой до следующей линзы, на которую он попадет у ее края b , поскольку этот луч крайний из тех, что прошли через обе линзы.

VI. Луч этот, преломившись во второй линзе, изменит свое направление таким образом, что в некоторой точке n пересечет оптическую ось системы; это произошло бы в фокусе линзы B , если бы прежде луч A был параллельным оптической оси; но поскольку он вышел из точки A , его пересечение с осью в точке n будет удалено от линзы B на расстояние, превышающее ее фокусное расстояние.

VII. Теперь нужно установить третью линзу C таким образом, чтобы луч, после того как он пересек ось в точке n , попадал бы на линзу C у самого ее края c ; из этого следует, что, чем больше диаметр линзы C , тем дальше нужно отодвинуть ее от линзы B , и, значит, тем больше становится расстояние BC ; но, с другой стороны, нужно остерегаться отодвинуть линзу C слишком далеко, потому что тогда луч на нее не попадет и не будет передан этой линзой дальше. Именно это обстоятельство определяет нужную длину промежутка BC между средними линзами, что согласуется с опытом.

VIII. Третья линза C преломит наш луч еще раз; это преломление должно подвести луч к самому краю d последней окулярной линзы D ; поскольку она по размерам меньше третьей линзы C , линия cd отклонится несколько в сто-

рону оптической оси. Поэтому в последней линзе луч испытает такое преломление, что пересечет ось на расстоянии, меньшем фокусного расстояния этой линзы; именно там и должен находиться глаз наблюдателя, чтобы все лучи, прошедшие через линзы, достигли бы глаза и перед ним открылось наибольшее поле зрения.

IX. Таким способом мы можем обеспечить себе поле зрения почти вдвое большее, чем в астрономической трубе, дающей такое же увеличение. Итак, зрительная труба с четырьмя линзами обладает двойным преимуществом: помимо того, что она дает прямое изображение, ее поле зрения значительно шире; это имеет большое значение.

X. Наконец, возможно так подобрать и установить четыре линзы, чтобы, не нанеся никакого ущерба тем достоинствам, о которых я говорил выше, устранить радужную расцветку, и тогда изображения станут самыми что ни на есть четкими. Однако мало кто из мастеров способен добиться такой степени совершенства.

10 апреля 1762 г.

Письмо 223

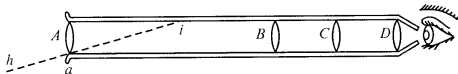
*О некоторых мерах предосторожности
при наблюдении за конструированием зрительных труб.
О необходимости хорошенько зачернять
внутреннюю поверхность труб и о диафрагмах*

После этих разъяснений об устройстве зрительных труб я должен сообщить В. В. о некоторых мерах предосторожности. Хотя они не относятся ни к линзам, ни к их взаимному расположению, тем не менее соблюдение этих предосторожностей весьма важно, ибо, если не соблюдать их со всею тщательностью, самая лучшая зрительная труба становится совершенно бесполезной. Недостаточно расположить линзы так, чтобы все лучи, попадающие в объектив, проходили через все линзы и попадали в глаз; нужно, кроме того, чтобы в трубу не попадали посторонние лучи и не наносили ущерба изображению. Чтобы избежать этого, принимают следующие меры.

I. Во-первых, линзы, из которых состоит оптический инструмент, должны быть заключены в трубу, чтобы никакие лучи, кроме тех, что прошли через объектив, не могли попасть на другие линзы. Для этого труба должна быть хорошо закрытой со всех сторон, чтобы свет не мог пробиться через какую-нибудь щель. Если случайно в трубе окажется дыра, посторонние лучи, которые войдут через нее, заглушат изображения объектов.

II. Очень важно также, чтобы внутренняя поверхность трубы была повсюду хорошо зачернена, причем очень густой черной краской, поскольку известно,

что черный цвет не отражает лучей, каким бы сильным ни был падающий на него свет.¹ Поэтому, как В. В., должно быть, уже замечали, трубы телескопов зачернены изнутри. Достаточно привести одно рассуждение, чтобы доказать необходимость этого.



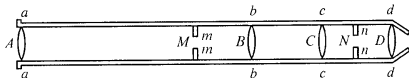
III. Через объектив проходят лучи не только от того объекта, изображение которого дает нам зрительная труба, но и боковые лучи, падающие на объектив со всех сторон в большом количестве; таков луч *ha*, попадающий внутрь трубы на ее стенку в точке *i*; следовательно, если бы труба была изнутри белой или какого-нибудь иного цвета, этот луч осветил бы ее, и она сама породила бы множество световых лучей, которые не преминули бы пройти через остальные линзы и испортить изображение, смешавшись с лучами, исходящими от объектива.

IV. Однако, если внутренняя поверхность трубы окрашена в густой черный цвет, она не породит новых лучей, как бы ее ни освещали. Чернота эта необходима по всей длине трубы, поскольку не бывает черного цвета столь густого, чтобы он, будучи освещен, не породил хотя бы слабого света; но если даже какое-то количество посторонних лучей пройдет через вторую линзу *B*, лежащая далее черная стенка трубы без труда погасит их полностью.

Существует черная краска с глянцем; пользоваться ею нельзя.

V. Однако, как правило, описанная выше предосторожность оказывается недостаточной; приходится вставлять внутрь трубы одну или две диафрагмы с небольшим отверстием, чтобы задержать посторонние лучи. Следует, впрочем, остерегаться, чтобы диафрагмы не преградили путь лучам, исходящим от объектов, которые зрительная труба должна нам представить.

VI. Нужно знать, в каком участке трубы теснее всего сходятся лучи, идущие от объектов; происходит же это в тех участках трубы, где линзы создают изображение объекта, поскольку именно там собираются все лучи. Объектив *A* строит изображение в своем фокусе *M*; остается определить размеры этого изображения и поставить в том месте диафрагму, отверстие которой *mm* будет равно изображению или немного больше его. Ибо, если отверстие будет меньше изображения, поле зрения сузится, и это было бы серьезным недостатком.



VII. Вот что следовало отметить относительно диафрагмы, которую вставляют в астрономические телескопы, состоящие из двух выпуклых линз. В «земных» же телескопах в трубе возникают два изображения; помимо первого,

создаваемого объективом в его фокусе M и переносимого второю линзой B в бесконечность, третья линза C дает еще одно изображение в своем фокусе N . Оно прямое, тогда как первое изображение было перевернутым. Именно в N следует поместить еще одну диафрагму с отверстием nn — по размеру изображения, которое там появляется.

VIII. Эти диафрагмы в сочетании с зачернением внутренней поверхности трубы способствуют чистоте изображения. Однако необходимо отметить, что, чем больше поле зрения зрительной трубы, тем меньше можно рассчитывать на эти диафрагмы, ибо в этом случае изображения становятся большими и, следовательно, отверстия диафрагмы должны быть столь широкими, что диафрагмы уже не в состоянии задержать посторонние лучи. Тем тщательнее следует зачернять внутреннюю поверхность трубы; кроме того, нужно делать трубу более широкой, что сильно уменьшает недостаток, о котором я говорил выше.

13 апреля 1762 г.

Письмо 224

*Как зрительные трубы представляют нам Луну,
планеты, Солнце и неподвижные звезды,
почему эти последние кажутся нам в зрительную
трубу меньшими, чем они видны невооруженному глазу.
Оценка расстояния до неподвижных звезд
с помощью сравнения их видимых размеров с Солнцем*

Нисколько не сомневаюсь в том, что В. В. порадует, избавившись наконец от сухой теории зрительных труб, у которой, можно сказать, нет иных достоинств, кроме того, что она привела к великим открытиям, сделанным при помощи этих труб.

Удивительное зрелище — видеть весьма удаленные объекты столь же отчетливо, как если бы они паходились ближе в сто или более раз, особенно если у нас нет возможности приблизиться к ним, как не можем мы приблизиться к небесным телам! И В. В., несомненно, согласится, что с помощью зрительных труб мы узнали о небесных светилах вещи поистине поразительные.

Наблюдая Луну в сто раз более близкой к нам, чем есть на самом деле, можно увидеть весьма любопытные неровности, нечто вроде долин и высочайших вершин, которые своею правильностью напоминают скорее творения, созданные по замыслу, нежели горы. Это можно считать веским аргументом в пользу того, что Луна населена разумными существами,¹ хотя одно уже созерцание всемогущества Создателя и его державной мудрости и благости дает нам еще более убедительные доказательства того же.

Равным образом были сделаны важные открытия, относящиеся к планетам, которые кажутся невооруженному глазу всего лишь светящимися точками, но увиденные в хороший телескоп, похожи на Луну и представляются даже еще больших размеров.

Что же до неподвижных звезд, то В. В. испытает немалое удивление: имею честь поручиться, что даже в лучший телескоп, увеличивающий более чем в 200 раз, эти звезды по-прежнему кажутся нам точками и, более того, представляются еще меньшими, чем когда мы смотрим на них невооруженным глазом. Это тем более удивительно, что можно с уверенностью утверждать: телескоп показывает их нам такими, какими мы их увидели бы, если бы находились в 200 раз ближе. Нельзя ли из этого сделать вывод, что телескопы теряют свою силу, когда дело доходит до неподвижных звезд? Однако эту мысль придется отбросить, если мы вспомним, что телескоп открывает нам миллионы слабых звезд, которые, если бы не телескоп, ускользнули бы от нашего зрения. Кроме того, мы видим, что при наблюдении в телескоп звезды отстоят одна от другой значительно дальше; если невооруженному глазу две звезды кажутся почти соприкасающимися — то стоит посмотреть на них в телескоп, чтобы увидеть их разделенными значительным расстоянием. Все это доказывает, что телескоп не потерял своих свойств.

Но какова же причина того, что неподвижные звезды кажутся нам в телескоп еще меньше, чем если смотреть на них простым глазом? Отвечая на этот вопрос, отмечу прежде всего, что невооруженному глазу неподвижные звезды представляются более крупными, чем должны бы казаться, и происходит это из-за того, что примешивается ложное сияние, порожденное их яркостью. В самом деле, когда лучи, пришедшие от какой-нибудь звезды, рисуют ее изображение в глубине глаза, на сетчатке, они воздействуют на наши нервы в одной-единственной точке, но благодаря яркости света соседние нервы тоже приходят в колебательное движение, и возникает такое же ощущение, как если бы изображение объекта, появившееся на сетчатке, было значительно крупнее. То же происходит, когда мы смотрим ночью на какой-нибудь очень отдаленный источник света. Он кажется нам значительно больше, чем если бы мы его видели с близкого расстояния: это увеличение видимых размеров вызвано только ложным сиянием. Чем сильнее увеличивает телескоп, тем меньшим становится этот эффект, отчасти потому, что лучи становятся несколько слабее, отчасти же потому, что истинное изображение в глубине глаза становится крупнее, так что теперь уже не одна только точка подвергается непосредственному воздействию лучей.

Поэтому, сколь бы малыми ни казались нам звезды в телескоп, можно смело утверждать, что невооруженному глазу они показались бы еще меньше, если бы не сопутствующее ложное сияние; притом во столько же раз меньше, во сколько увеличивает телескоп.

Из этого следует, что поскольку неподвижные звезды представляются нам всего лишь точками, даже будучи увеличены в 200 раз, то отдаленность их

должна быть чрезвычайной. В. В. будет нетрудно понять, каким способом можно оценить это расстояние.

Поперечник Солнца виден нам под углом в $32'$; значит, если бы Солнце находилось в 32 раза дальше, оно было бы видно под углом в $1'$, т. е. все еще намного больше, чем звезда, наблюдаемая в телескоп, так как ее видимый диаметр не превышает $2''$, или одной тридцатой доли минуты. Следовательно, для того чтобы Солнце показалось нам не крупнее неподвижной звезды, наблюдаемой в телескоп, оно должно было бы находиться еще в 30 раз дальше от нас, т. е. в 960 раз дальше, чем оно находится на самом деле. Звезды же лежат в 200 раз дальше от нас, чем представляет их телескоп, и, следовательно, Солнце должно было бы находиться от нас на расстоянии в 200 раз по 960, т. е. в 192 000 раз превышающем то, где оно находится в действительности — чтобы оно казалось не крупнее неподвижной звезды.² Поэтому если бы звезды были телами, равными по размерам Солнцу, то расстояние до них было бы в 192 000 раз больше расстояния, отделяющего нас от Солнца; а если бы они были еще больше, то во столько же раз огромнее должны были бы быть расстояния, отделяющие нас от них. И даже если предположить, что они во много раз меньше Солнца — все равно расстояние до них более чем в 1 000 раз превышает расстояние до Солнца,³ которое составляет около 15 000 000 немецких миль.⁴

В. В. несомненно испытает большое удивление, узнав, какое непостижимое расстояние отделяет нас от неподвижных звезд и вообще о размерах Вселенной. Каким же должно быть всемогущество того, кто сотворил эту безмерность и пребывает ее полновластным владыкой? Будем же чтить Его с самым глубоким смирением.

17 апреля 1762 г.

Письмо 225

*О вопросе, почему Луна и Солнце кажутся нам
бóльшими при восходе или заходе, чем тогда,
когда они находятся на некоторой высоте?*

*О трудностях, которые встречаются
при попытках объяснения этого явления*

В. В. несомненно случалось обращать внимание на то, что, когда Луна восходит или садится, она кажется нам значительно больше, чем когда она находится высоко в небе; в этом согласны все люди. Такое же наблюдение можно сделать и в отношении Солнца. Эти видимые явления всегда ставили ученых в затруднительное положение; и с какой бы стороны их ни рассматривать, мы встречаемся с трудностями, почти непреодолимыми.

Было бы, конечно, нелепо сделать вывод, что Луна на самом деле увеличивается в объеме, когда появляется у горизонта, и уменьшается, когда поднимается выше. Помимо того, что такая мысль была бы абсурдной сама по себе, нужно отметить еще, что, когда Луна появляется перед нами на горизонте, другим обитателям Земли она представляется стоящей выше и соответственно меньших размеров. Однако такое, безусловно, невозможно — чтобы одно и то же тело в одно и то же время было и больше, и меньше.

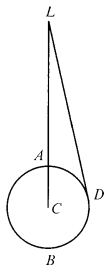
Столь же смехотворной была бы попытка объяснить это странное явление, предположив, что Луна к нам ближе тогда, когда она появляется у горизонта, чем тогда, когда она поднимется высоко (поскольку несомненно, что один и тот же объект представляется нам тем крупнее, чем ближе к нам он находится, и В. В. известно, что, чем более удален от нас какой-нибудь объект, тем меньше его видимые размеры; именно по этой причине звезды кажутся нам столь ничтожно малыми, хотя их истинные размеры огромны).

Однако, сколь бы правдоподобным ни казалось такое предположение, оно не может быть верным. Более того: Луна, когда она восходит или заходит, несколько дальше от нас, чем когда она стоит высоко. Вот тому доказательство.

Пусть окружность ABD изображает Землю, и Луна находится в точке L . В таком случае обитатель Земли, находящийся в пункте A , будет наблюдать Луну в зените, т. е. в самой высокой точке неба. Другой же, находящийся в пункте D , где прямая DL касается земной поверхности, в это же самое время будет видеть Луну на горизонте. Иными словами, Луна одновременно будет в зените для наблюдателя A и на горизонте для наблюдателя D . Однако ясно, что расстояние DL больше, чем расстояние AL , и, следовательно, Луна находится дальше от тех, кто видит ее на горизонте, чем от тех, кому она видна в зените. Из этого вытекает, что Луна, наблюдаемая у горизонта, должна была бы казаться нам меньших размеров, ибо она и в самом деле дальше от нас, чем тогда, когда она поднялась высоко. Тем более удивительно, что мы наблюдаем явление совершенно противоположное и что Луна кажется значительно больше тогда, когда мы ее видим у горизонта, чем в середине неба.

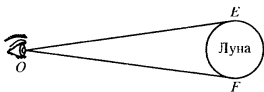
Итак, чем глубже мы исследуем это явление, тем более странным находим его и тем в большей степени заслуживает оно нашего внимания, ибо несомненно, что в действительности Луна, находясь у горизонта, должна была бы нам казаться меньше, будучи более удаленной, тогда как все единодушно утверждают, что Луна в это время кажется значительно больше. Это противоречие бросается в глаза и даже как будто опровергает все законы, установленные оптикой, которые, однако же, доказаны столь же хорошо, как и законы геометрии.

Я надеюсь, что показал с полной отчетливостью то затруднительное положение, в котором мы пребываем, пытаясь разрешить этот вопрос, чтобы тем



убедительнее доказать В. В. необходимость преодоления возникших трудностей, весьма серьезных.

Для начала, не задаваясь исследованием всеобщего мнения о необычайно больших размерах Луны, когда она у горизонта, я остановлюсь на основном вопросе: в самом ли деле видимые размеры Луны, когда она близко к горизонту, увеличиваются?



В. В. известно, что существуют весьма надежные методы точно измерять видимые диаметры небесных тел, выражая их в градусах и минутах пространства, занимаемого ими в небе, или, что то же самое, измерив угол EOF , образованный прямыми EO и FO , проведенными через

противоположные края Луны к глазу O наблюдателя. Этот угол EOF называют видимым диаметром Луны. Имеются и инструменты, специально предназначенные для того, чтобы точно измерить этот угол; если измерить с их помощью диаметр Луны сначала во время ее восхода, а затем — когда она поднимается высоко в небо, то обнаружим, что в первом случае этот диаметр немного меньше. Так оно и должно быть из-за того, что расстояния неравны. Никаких сомнений по этому поводу не возникает; но именно поэтому затруднение, в котором мы пребываем, вместо того чтобы уменшиться, скорее, напротив, усугубляется, и мы спрашиваем себя тем настойчивее, почему же все-таки Луна, когда она восходит или заходит, всем кажется больше, хотя ее видимый диаметр именно тогда является наименьшим? И в чем причина этого всеобщего заблуждения, которому подвержены все люди без единого исключения? Астроном, прекрасно знающий, что видимый диаметр Луны в это время — наименьший, поддается этому обману зрения точно так же, как самый невежественный простак.

20 апреля 1762 г.

Письмо 226

Размышления над этим трудным вопросом и попытки сгладить трудности, которые здесь встречаются.
Абсурдные объяснения

Должно быть, у В. В. ранее не возникало мысли, что обычный восход Луны может породить столько сложностей; однако я надеюсь устранить их при помощи следующих рассуждений.

I. Во-первых, нет ничего удивительного в том, что наша оценка размеров тех или иных объектов не согласуется с величиной угла, под которым мы их

видим; повседневный опыт дает тому доказательства. Например, кот, находящийся у меня перед глазами, виден под большим углом, чем бык на расстоянии 100 шагов. Однако не подумаю же я, что кот больше быка; и пусть В. В. вспомнит, что наше суждение о размерах предметов всегда очень тесно связано с оценкой расстояния до них, так что если мы ошибаемся в оценке расстояния, то и наше суждение о размерах предмета непременно будет ошибочным.

II. Можно еще лучше пояснить сказанное выше. Иной раз бывает, что, если перед нашими глазами неожиданно появится муха, о которой мы перед тем совершенно не думали, ибо наш взгляд был устремлен на предметы отдаленные, — поначалу мы вообразим, что муха эта находится очень далеко от нас; а поскольку мы видим ее под довольно большим углом, то в первое мгновение примем ее за орла¹ или какую-нибудь другую большую птицу, которая, находясь на большом расстоянии, была бы видна нам под таким же углом. Следовательно, не приходится сомневаться, что наше суждение о размерах предметов не основывается на величине угла, под которым мы их видим, и что есть большая разница между видимыми размерами предметов и нашей оценкой этих размеров: первые определяются углом зрения, а вторая зависит от расстояния, на которое, как мы полагаем, удален от нас тот или иной предмет.

III. Чтобы сделать вывод из этого наблюдения, я отмечу прежде всего, что нам не следовало бы говорить, будто мы видим Луну более крупной на горизонте, чем тогда, когда она поднялась на значительную высоту. Это совершенно неверно. Более того, у горизонта она несколько меньше. Чтобы выразиться точно, уместно было бы сказать, что мы полагаем и оцениваем размеры Луны как более значительные, когда она находится у горизонта; это было бы совершенно точно и, с другой стороны, в согласии с единодушным мнением всех. Такой поправки довольно, чтобы устранить противоречие, о котором говорилось выше; ничто не запрещает нам оценивать размеры восходящей или заходящей Луны как наибольшие, несмотря на то что видна она тогда под меньшим углом.

IV. Итак, нет нужды объяснять, почему Луна, находясь у горизонта, имеет наибольшие видимые размеры, ибо объяснить это было бы делом невозможным ввиду того, что в действительности она в это время имеет наименьшие видимые размеры, и это можно доказать, измерив угол, под которым она видна. Теперь все затруднения сводятся к одному вопросу: почему мы полагаем и оцениваем размеры Луны в этом положении как наибольшие? Нужно найти причину этой странной оценки, которая сама по себе не столь уж удивительна, ибо нам известны тысячи случаев, когда мы приписываем предметам очень большие размеры, несмотря на то, что видим их под очень малыми углами.

V. Теперь на этот вопрос ответить нетрудно. Достаточно сказать, что, когда Луна восходит или заходит, мы полагаем ее более удаленной от нас, чем тогда, когда она поднялась на некоторую высоту. Коль скоро мы оцениваем расстояния именно так, то какова бы ни была причина такой оценки, из нее с

необходимостью следует, что мы должны приписать Луне, когда она у горизонта, наибольшие размеры. Ибо всегда, чем более далеким полагаем мы объект, тем большие размеры мы ему приписываем — пропорционально его удаленности. Если я представлю себе, в результате некоей иллюзии (каковы бы ни были ее причины), что муха, которая ползет у меня перед глазами, находится на расстоянии 100 шагов — я буду вынужден, почти против воли, посчитать ее во столько же раз более крупной, во сколько раз 100 шагов превосходят истинное расстояние, отделяющее муху от моего глаза.

VI. Итак, перед нами возникает новый вопрос: почему мы полагаем Луну более удаленной от нас тогда, когда она находится у горизонта? И почему эта иллюзия является настолько всеобщей, что ее никто не избегнет? Ибо это поистине странная иллюзия — то, что мы полагаем, будто Луна в это время удалена от нас значительно больше? Правда, Луна в это время действительно находится немного дальше, как я показал в предыдущем письме, но разница столь невелика, что ее нельзя заметить. Более того, Солнце, находящееся в 100 раз дальше Луны,² не кажется нам более отдаленным, чем Луна, и даже неподвижные звезды наше зрение относит примерно на то же расстояние.

VII. Таким образом, хотя Луна, когда она у горизонта, на самом деле находится несколько дальше от нас, это обстоятельство не имеет ровно никакого значения для обсуждаемой нами проблемы, и всеобщее суждение, относящее Луну у горизонта на расстояние более далекое, чем на самом деле, — оно должно основываться на совершенно других доводах, могущих ввести в заблуждение кого угодно. А так как суждение это, без сомнения, ложно, необходимо, чтобы доводы, которые нас к нему склоняют, казались очень убедительными.

VIII. Чтобы объяснить это явление — почему мы приписываем Луне большую удаленность, наблюдая ее у горизонта, — многие философы предполагали, что причина здесь следующая: мы видим в этом случае между нами и Луной множество объектов, города, деревни, леса и горы. Это и является, по их мнению, причиной того, что Луна представляется нам тогда значительно более удаленной; если же она поднялась высоко, то мы не видим никаких объектов между ею и нами, и потому, говорят эти философы, она должна казаться нам более близкой. Однако это объяснение, каким бы оно ни представлялось остроумным на первый взгляд, не может быть принято. Достаточно посмотреть на Луну, находящуюся у горизонта, через какое-нибудь небольшое отверстие, в которое никакие предметы между нами и Луной не видны; и в этом случае Луна покажется нам больших размеров. Кроме того, неверно, что мы всегда полагаем более отдаленными те объекты, перед которыми мы видим множество других предметов. Например, большая зала, если она совершенно пустая, кажется нам более обширной, чем тогда, когда она заполнена публикой, несмотря на то что в последнем случае мы видим между нами и стенами множество разных объектов.

Письмо 227

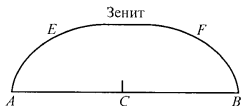
*Путь к правильному объяснению этого явления:
Луна кажется более удаленной от нас тогда,
когда она находится у горизонта,
чем тогда, когда она высоко в небе*

Мы все еще не подошли к объяснению всеобщей иллюзии, благодаря которой всем людям, без исключения, Луна представляется намного больше тогда, когда она появляется на горизонте, нежели тогда, когда она поднялась высоко. Как я уже отмечал, это явление тем более удивительно, что видимый диаметр Луны в это время даже несколько меньше; поэтому не следовало бы говорить, что мы видим тогда Луну более крупной, но что мы считаем ее таковою согласно нашей оценке.

Кроме того, как я отметил выше, очень часто наше суждение сильно расходится с тем, что видят наши глаза. Например, увидев лошадь на расстоянии 100 шагов, мы не отказываемся от своего мнения, что она больше, чем собака, находящаяся в шаге от нас, хотя видимые размеры собаки, без сомнения, больше; или, иными словами, несмотря на то, что изображение собаки на сетчатке глаза больше, чем изображение лошади. В таких случаях наше суждение принимает в расчет расстояние, а поскольку мы оцениваем расстояние до лошади как гораздо большее, чем расстояние до собаки, — в этом причина того, что мы полагаем лошадь существом более крупным.

Поэтому очень может быть, что такая же ситуация имеет место и в случае с Луной, и мы полагаем Луну, наблюдаемую у горизонта, более удаленной от нас, чем тогда, когда она поднялась высоко. В примере с лошадью оценка расстояний основывалась на действительных соотношениях, но в случае с Луной, поскольку оценка расстояния производится совершенно неверно, она является следствием очень странной иллюзии, которая, однако, должна иметь под собою какое-то основание, ибо ей подвластны все и ее нельзя считать простой случайностью или причудой. Каково же это основание? Об этом я и хочу побеседовать с В. В.

I. Во-первых, все представляют себе голубое небо уплощенным сводом, вершина которого гораздо ближе к нам, чем нижняя часть, сливающаяся с горизонтом. Так, человеку, стоящему на равнине AB , простирающейся столь далеко, насколько хватает его зрения, небосвод (который называют еще небесною твердью), представляется в виде фигуры $AEFB$, у которой расстояния CA и CB значительно больше, чем расстояние от C до зенита.



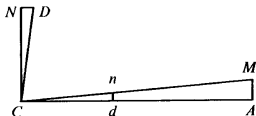
II. Это впечатление, бесспорно, тоже является иллюзией, потому что пространство над нами не ограничено и не замкнуто никаким сводом. Скорее можно сказать, что пространство это — пустота, и протяженность этой пустоты огромна, ибо она простирается до самых отдаленных неподвижных звезд, расстояние до которых недоступно нашему воображению. Пусть В. В. извинит мне это выражение — «пустота», которым я пользуюсь, чтобы противопоставить вышеупомянутое пространство земным предметам — плотным и вещественным, ибо на самом деле околоземное пространство занимает наша атмосфера, а далее простирается субстанция значительно более тонкая и легкая, которую называют эфиром.

III. Однако, хотя небесная твердь, или небосвод, — плод нашего воображения, в воображении нашем он очень реален, и все — ученые люди в той же степени, что и невежды, — в этом случае оказываются одинаково в заблуждении. Мы представляем себе Солнце и Луну где-то на поверхности этого свода вместе со всеми звездами, как если бы то были сверкающие шляпки вбитых в него гвоздей, и, хотя нам известно, что это вовсе не так, мы не можем не поддаться иллюзии.

IV. Итак, когда Луна видна у горизонта, наше воображение относит ее в точку *A* или точку *B* вышеупомянутого воображаемого свода, и потому мы полагаем расстояние до нее во столько раз большим, во сколько отрезок *CA* или *CB* длиннее *CZ*. Когда же Луна, поднимаясь, приближается к зениту, мы полагаем, что она становится ближе, а если бы она достигла зенита, мы сочли бы ее удаление наименьшим.

V. Эта ошибка в оценке расстояния неизбежно влечет за собой другую — в оценке размеров. Поскольку Луна, которую мы мысленно поместили в точку *A*, представляется нам значительно более удаленной от точки *C*, чем если бы она стояла в зените, мы некоторым образом вынуждены заключить, что Луна в этом положении — больше во столько раз, во сколько расстояние *CA* кажется нам превосходящим расстояние *CZ*. Вероятно, не все люди одинаково оценивают отношение этих двух величин: один скажет, что Луна у горизонта кажется ему в два раза больше, другой — что в три; большинство выскажутся за некую величину, промежуточную между двумя и тремя. Но что касается самого явления, то все будут единодушны.

VI. По этому поводу будет уместным представить В. В. еще одно доказательство того, что оценка размеров необходимым образом вытекает из оценки расстояния.



Когда Луна находится у горизонта, мы видим ее под определенным углом; если наблюдатель стоит в точке *C*, то это — угол *MCA*. Обозначим *NCD* угол, под которым мы видим Луну, когда она поднимается высоко. Совершенно очевидно, что углы *MCA* и *NCD* примерно равны, так как разница между ними крайне мала.

VII. Но в первом случае мы полагаем Луну значительно более отдаленной, помещая ее на воображаемом небосводе, описанном выше (пусть CA будет отрезком, выражающим это воображаемое расстояние). Из этого следует, что мы полагаем диаметр Луны равным отрезку MA . Во втором же случае расстояние CD до Луны представляется нам значительно меньшим, и, следовательно, поскольку угол NCD равен углу MCA , мы сочтем, что отрезок DN тоже будет гораздо меньше отрезка AM .

VIII. Чтобы не оставалось никаких сомнений по этому поводу, достаточно сложить на прямых CA и CM отрезки Cd и Cn , равные отрезкам CD и CN , так как в треугольниках Cdn и CDN углы при вершине C равны, сами эти треугольники тоже равны, и, следовательно, отрезок DN будет равен отрезку dn ; однако dn заметно меньше, чем AM , — во столько раз, во сколько расстояние cd или Cd меньше, чем CA .

Теперь В. В. несомненно понимает, что же заставляет нас оценивать размеры Луны у горизонта как наибольшие.

27 апреля 1762 г.

Письмо 228

Небесное пространство представляется нам в виде свода, сплюснутого у зенита

В. В. безусловно поставит мне в вину, что я объясняю одну иллюзию посредством другой, не менее странной, и возразит, что воображаемый небосвод — это нечто, столь же непостижимое, как и кажущееся увеличение размеров Луны и других светил, когда их наблюдают у горизонта. Это возражение очень основательно, и мой долг разъяснить В. В. истинную причину того, почему небо представляется нам сводом, уплощенным в своей верхней части; это я и попытаюсь сделать при помощи следующих рассуждений.

I. Говоря о том, откуда берется у нас представление о воображаемом небосводе, приходится признать: оно порождается тем, что небесные тела, наблюдаемые нами у горизонта, кажутся нам более удаленными, нежели те, что мы видим в зените. Несомненно, это — «вывод из положения, которое еще должно быть доказано»,¹ в чистом виде, и любой логик имеет право его отвергнуть, объявив порочным и недопустимым в наших рассуждениях. В самом деле, после того как сказано, что воображаемый нами небосвод есть причина, по которой Луна кажется нам более далекой у горизонта, чем в зените, будет попросту нелепо утверждать: мы воображаем себе этот небосвод потому, что предметы у горизонта представляются нам более далекими, чем высоко в небе.

II. Однако разговор о мнимом небосводе был бесполезным, хотя и не продвинул нас в наших рассуждениях; когда я объясню, почему небесные тела представляются нам более далекими, если мы видим их у горизонта, В. В.

одновременно поймет причину обеих испытываемых всеми иллюзий (первая — это кажущееся увеличение размеров светил у горизонта, а вторая — иллюзия уплощенного небосвода).

III. Таким образом, все сводится к тому, что нужно объяснить, почему небесные тела, наблюдаемые у горизонта, представляются более далекими, чем когда они поднялись на значительную высоту. Теперь я назову причину: в первом случае светила кажутся нам менее яркими. Это утверждение налагает на меня два обязательства: показать, почему светила менее ярки, когда они у горизонта, а затем объяснить, как это обстоятельство с необходимостью влечет за собой преувеличенную оценку расстояния. Я надеюсь справиться с этими задачами к удовлетворению В. В.

IV. Прежде всего явление само по себе не вызывает никаких сомнений. Сколь бы ни было ярким полуденное сияние Солнца — таким, что никто не может смотреть на него, — В. В. знает, что утром и вечером, когда Солнце встает или ложится, на него можно смотреть, не испытывая неприятных ощущений. То же можно сказать о Луне и всех звездах: блеск их значительно ослабляется вблизи горизонта. Слабые звездочки, когда они невысоко над горизонтом, не видны вовсе; когда же они поднимутся выше, то различимы отчетливо.

V. После того как мы это отметили, следует раскрыть причину вышеупомянутого ослабления света. Ясно, что искать эту причину можно только в свойствах нашей атмосферы, т. е. воздуха, окружающего Землю, поскольку он не является безупречно прозрачным. Ибо, если бы воздух был совершенно прозрачным, так что все лучи проходили бы сквозь него, не претерпевая ни малейшего ослабления, нет никакого сомнения, что звезды сверкали бы одинаково ярко, в какой бы части небосклона они ни находились.

VI. Помимо того что воздух — субстанция значительно менее тонкая и легкая, чем эфир, прозрачность коего безупречна, — в воздухе всегда содержатся чужеродные частицы, поднимающиеся с поверхности Земли, например испарения; эти частицы вредят его прозрачности. Так, если какой-нибудь луч встречает такую частицу, он перехватывается ею и почти гаснет. Поэтому очевидно, что, чем более насыщен воздух такими частицами, препятствующими прохождению света, тем больше света должно теряться. В. В. известно: густой туман лишает воздух почти всей его прозрачности, так что зачастую предметы становятся едва различимы в трех шагах.

VII. Пусть точки, проставленные на этом рисунке, изображают вышеупомянутые частицы, рассеянные в воздухе; их количество может быть больше или меньше в зависимости от того, насколько чист воздух. Ясно, что многие из лучей, пересекающих пространство, изображенное на рисунке, должны потеряться и что убыль будет тем больше, чем больше путь, который лучам нужно пройти. Так, мы знаем, что в тумане отдаленные предметы невидимы, в то время как



находящиеся очень близко от наших глаз еще различимы. Причина здесь та, что лучи, идущие от отдаленных предметов, встречаются на своем пути больше частиц, которые их задерживают.

VIII. Из этого делаем вывод, что, чем длиннее путь, который должны пройти в атмосфере лучи от светил, чтобы достичь наших глаз, тем более значительную убыль и ослабление должны они претерпеть. Надеюсь, у В. В. не осталось никаких сомнений по этому поводу. Нужно лишь доказать, что лучи светил, наблюдаемых у горизонта, должны проходить в атмосфере путь значительно более длинный, чем если бы эти светила находились ближе к зениту. Тогда В. В. поймет истинную причину того, почему светила, наблюдаемые при своем заходе или восходе у горизонта, кажутся значительно менее яркими. Это будет темой моего следующего письма.

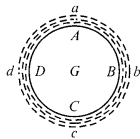
1 мая 1762 г.

Письмо 229

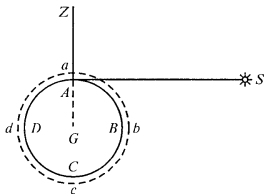
Свет звезд, которые находятся у горизонта, значительно ослаблен, потому что их лучи должны проходить тогда гораздо больший путь в нижних слоях нашей атмосферы, чем тогда, когда звезды находятся вверху. И именно по этой причине мы считаем, что у горизонта они больше удалены от нас и имеют бóльшие размеры, чем тогда, когда они наверху

Быть может, мое утверждение, что лучи светил, когда эти последние находятся у горизонта, должны проходить более длинный путь в атмосфере, покажется В. В. парадоксальным, поскольку атмосфера простирается до одной и той же высоты; следовательно, где бы ни находилось светило, лучи в любом случае должны пройти сквозь всю толщу атмосферы прежде, чем достигнут наших глаз. Однако я надеюсь, что следующие рассуждения рассеют все сомнения.

I. Прежде всего нужно составить себе правильное представление об атмосфере, окружающей Землю. Предположим, что внутренний круг $ABCD$ изображает Землю, а паружное кольцо $abcd$, обозначенное пунктиром, — атмосферу. Отметим, что воздух по мере поднятия над земной поверхностью становится все более разреженным и в конце концов постепенно и незаметно переходит в эфир, заполняющий все небесное пространство.



II. Самый плотный воздух, содержащий наибольшее количество частиц, которые поглощают лучи света, находится внизу, возле земной поверхности. С высотой воздух делается все более разреженным и тем самым становится все меньшей помехою для лучей света; на высоте одной немецкой мили он оказывается столь разреженным, что не может уже причинить свету заметного ущерба. Следовательно, расстояние между внутренней и внешней окружностью можно положить равным одной немецкой миле,¹ в то время как полудиаметр самой Земли составляет 860 миль; итак, высота атмосферы ничтожна по сравнению с огромными размерами земного шара.



III. Представим себе наблюдателя в точке A на поверхности Земли. Проведем из центра G Земли через точку A прямую GZ , направленную в зенит нашего наблюдателя; линия же AS , перпендикулярная прямой GZ и касательная к земной поверхности, будет для наблюдателя горизонтальной. Следовательно, светило, находящееся в точке Z , будет в зените, т. е. в самой высокой точке неба, а светило в точке S будет у горизонта, т. е. восходящим или заходящим. Ничто не препят-

ствуем нам считать то и другое светило бесконечно удаленными от Земли, хотя я и не мог изобразить это на рисунке.

IV. Теперь В. В. достаточно бросить взгляд на рисунок, чтобы увидеть, что лучи, исходящие из S , должны, прежде чем они достигнут наблюдателя в точке A , проделать в атмосфере путь гораздо больший, нежели лучи, которые выходят из светила Z . Лучам светила Z нужно преодолеть только высоту атмосферы aA , всего около мили, между тем как лучи светила S должны пройти весь путь hA , который заметно длиннее. Если бы рисунок лучше передавал действительность и радиус GA был в 860 раз больше, чем высота aA атмосферы, — то мы увидели бы, что расстояние Ah превосходит 40 миль.

V. Стоит также отметить, что лучам светила Z только очень небольшую часть своего пути приходится двигаться в нижней части атмосферы, там, где она наиболее насыщена испарениями; между тем лучам светила S приходится пройти очень значительное расстояние именно в нижней части атмосферы и они должны, если можно так выразиться, чуть ли не ползти по поверхности Земли. Из этого вполне естественно сделать вывод, что лучи светила Z не претерпевают почти никакого ослабления, в то время как почти все лучи светила S гаснут из-за того, что им пришлось проделать большой путь в плотном воздухе.

VI. Таким образом неопровержимо доказано, что яркость светил, когда мы видим их у горизонта, должна быть значительно ослаблена. Теперь В. В. поймет без труда, почему мы можем останавливать наш взгляд на восходящем или заходящем Солнце без вреда для глаз, при том что в полдень, когда Солнце

высоко, его сверкание непереносимо. Это — первая посылка, которую я хотел доказать; теперь мне остается доказать вторую — что именно ослабление света, можно сказать, заставляет нас вообразить, будто небесные тела находятся от нас значительно дальше, чем тогда, когда мы их видим в полном сиянии.

VII. Причину следует искать в земных предметах, которые мы видим ежедневно и расстояние до которых оцениваем. Поскольку лучи, проходя через воздух, претерпевают некоторое ослабление — ясно, что, чем дальше от нас находится предмет, тем больше теряет он в яркости и кажется нам темнее. Так, далекая гора представляется нам очень темной; если же мы подойдем ближе, то легко различим растущие на ней деревья; на большом расстоянии это невозможно.

VIII. Эта всеобщая и всеми наблюдаемая закономерность, которая никогда не обманывает нас, когда мы имеем дело с земными предметами, порождает в нашем сознании, еще в раннем возрасте, фундаментальное правило, в соответствии с которым мы полагаем предметы тем более удаленными, чем более ослаблены их лучи, приходящие к нам. Именно в соответствии с этим правилом мы полагаем, что Луна, когда она восходит или заходит, более удалена от нас, чем когда она уже достигла значительной высоты; и именно по этой причине мы приписываем ей соответственно большие размеры. Я льщу себя надеждой, что В. В. найдет эти доводы хорошо обоснованными, а странное явление, о котором идет речь, — объясненным, насколько это возможно.

4 мая 1762 г.

Письмо 230

О некоторых других иллюзиях, происходящих от того, что мы считаем объект тем более удаленным от нас, чем слабее кажется нам его свет или блеск. О том, как пользуются этим эффектом художники

Существующее в нашем сознании правило, посредством которого я объяснил столь странное явление, — то, что мы полагаем, будто Луна у горизонта значительно крупнее, чем посреди неба, — это правило настолько укоренилось в нашем сознании, что является источником тысячи других иллюзий. Я удовлетворюсь тем, что представлю на суд В. В. некоторые из них.

С самого раннего возраста мы вынуждены — как бы против своей воли — считать предметы тем более далекими, чем более ослаблена их яркость; напротив, яркие предметы представляются нам более близкими, чем они есть на самом деле. Эта иллюзия без сомнения порождается всего лишь плохо управляемым воображением, которое часто вводит нас в заблуждение. Тем не менее она нам столь свойственна и в то же время столь общераспространена, что

нет никого, кто мог бы от нее уберечься, хотя заблуждения, в которые она нас ввергает, часто бывают весьма явными, как я имел честь показать В. В. на примере с Луной; однако мы обманываемся точно так же во множестве других случаев, из коих некоторые я опишу.

I. Существует очень известная иллюзия: ночью пламя пожара кажется нам гораздо ближе, чем оно есть на самом деле. Причина этого ясна: огонь сверкает ярко, и в соответствии с установленным выше свойством нашего восприятия мы всякий раз полагаем, что этот огонь ближе, чем он есть.

II. Точно так же большая зала, стены которой хорошо выбелены, всегда кажется нам меньше размером. В. В. знает, что белый цвет — самый яркий; поэтому мы полагаем стены этой залы более близкими к нам, и соответственно видимые размеры залы от этого уменьшаются.

III. В зале же, где стены затянуты черным сукном, как это принято делать по случаю большого траура, мы наблюдаем явление, полностью противоположное. Такое помещение представляется нам значительно более просторным, чем оно есть в действительности: черный — безусловно самый темный цвет, поскольку он не посылает почти никакого света в наши глаза; и по этой причине нам кажется, что черные стены находятся от нас на значительно большем расстоянии, чем это есть на самом деле. Итак, пусть закроют стены какой-либо комнаты черной тканью — и она покажется больше; и наоборот: пусть ее стены хорошо выбелят, и нам покажется, что она стала меньше.

IV. Однако лучше всех умеют использовать эту иллюзию (столь естественную и столь общую для всех людей) живописцы. В. В. известно, что на одной картине бывают изображены предметы, из коих некоторые кажутся нам весьма удаленными, тогда как другие — очень близкими. В руках искусного художника это — один из самых могущественных приемов. Достоин удивления: зная с полной уверенностью, что все изображения на картине сделаны на одной плоскости и находятся на примерно равном расстоянии от наших глаз, мы тем не менее поддаемся обману и полагаем одни предметы очень далекими, а другие — очень близкими. Обыкновенно эту иллюзию приписывают умению живописца искусно сочетать свет и тени: такое умение, несомненно, открывает перед ним большие возможности. Однако В. В. едва взглянет на картину, как заметит — предметы, которые должны казаться нам сильно удаленными, нарисованы тусклыми красками и довольно неотчетливо. В самом деле, когда мы смотрим вдаль, мы хорошо различаем, к примеру, фигуры людей, однако не можем разглядеть их глаза, нос, рот; соответственно и художник изображает предметы таким же образом. Что же до тех предметов, которые мы должны считать расположенными вблизи, то живописец рисует их самыми живыми, яркими красками и старается тщательно воспроизвести все детали; если это люди, мы различаем черты лица во всех подробностях, складки одежды и т. д. Тогда изображение кажется, если можно так выразиться, выступающим из холста, в то время как описанные ранее отодвинуты далеко вглубь.

V. Именно на этой иллюзии основано все искусство живописи.¹ Если бы мы были приучены судить только в соответствии с реальностью, этот вид искусства, весь целиком, не мог бы существовать — точно так же, как если бы мы были слепыми. Сколько бы художник ни проявлял свое умение смешивать краски, мы говорили бы: вот здесь, на этой поверхности — красное пятно, вон там — синее, вот черный мазок, а там несколько беловатых линий; все располагается на одной плоскости, ничто не уходит вглубь, ничто не выступает вперед. Если бы было так, нарисовать какой-либо реальный предмет было бы невозможно и мы смотрели бы на изображение так же, как смотрим на бумагу, исписанную буквами, и ломали бы себе голову, пытаясь (напрасно, быть может) разгадать назначение различно окрашенных пятен. Будучи столь непогрешимыми, не были бы мы достойны жалости, поскольку лишились бы удовольствия, ежедневно доставляемого нам искусством, столь же приятным, сколь и поучительным?

8 мая 1762 г.

Письмо 231

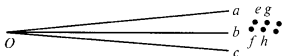
О синева неба

Теперь В. В. понятно происхождение иллюзии, в силу которой Луна, как и Солнце, кажется нам значительно крупнее у горизонта, чем на большой высоте:¹ это происходит потому, что мы полагаем Луну и Солнце более удаленными от нас, когда они у горизонта; а причина такой оценки расстояния основывается на том, что их свет претерпевает в этом случае значительное ослабление на длинном пути, который он должен проделать в атмосфере, в нижней ее части, наиболее насыщенной испарениями и другими посторонними частицами, уменьшающими прозрачность воздуха. Вот к чему сводятся рассуждения по этому вопросу, которые я имел честь предложить вниманию В. В.

То, что прозрачность воздуха уменьшается, на первый взгляд можно было бы считать недостатком. Но если мы рассмотрим следствия названного явления, то пойдем, что это не только не недостаток, но признаем в этом проявление мудрости и бесконечной благодати Создателя. Прежде всего, именно тому, что воздух не совсем чист, мы обязаны прекрасным и восхитительным зрелищем, которым дарит нас небесная синь. Ибо темные частицы, задерживающие лучи, ими освещаются и затем подобно другим любым несветящимся телам посылают нам свои собственные лучи, порожденные на их поверхности в результате сильнейшего сотрясения. Частицы эти получают такую частоту колебаний, что мы видим прекрасный голубой цвет.² Это обстоятельство заслуживает того, чтобы я остановился на нем подробнее.

I. Вначале я отмечу, что вышеупомянутые частицы крайне малы и очень удалены одна от другой; кроме того, они очень рыхлые и почти совсем про-

зрачные. Из этого следует, что каждая из них по отдельности совершенно незаметна, и мы не могли бы заметить их влияния, если бы очень большое количество таких частиц не посылало своих лучей в наши глаза одновременно и почти в одном направлении. Итак, чтобы вызвать ощущение, лучи от многих частиц должны действовать совместно.



II. Из этого следует с очевидностью, что те из частиц, которые находятся недалеко от нас, ускользают от нашего зрения, поскольку их можно рассматривать как отдельные точ-

ки, лишь редко вкрапленные в массу воздуха. Однако лучи тех частицы, которые находятся далеко от глаза (например, *a*, *b*, *c*), приходят в глаз, следуя почти одному направлению, и поэтому становятся настолько сильными, чтобы подействовать на наше зрение, особенно если учесть, что подобные же частицы *e*, *f*, *g*, *h*, более удаленные, так же как и другие, более близкие, тоже участвуют в этом эффекте.

III. Таким образом, голубой цвет, в который окрашено небо, когда оно ясно, — не что иное, как эффект всех таких частиц, рассеянных в атмосфере, и главным образом тех, что сильно удалены от нас; вполне можно сказать, что все эти частицы — голубые по своей природе, однако очень блеклого голубого цвета, который становится насыщенным и ярким только тогда, когда таких частиц много и все вместе они посылают свои лучи в одном направлении.

IV. Вышеописанный эффект может быть получен искусственно. Для этого довольно развести немного индиго в большом количестве воды; взяв каплю такой воды, мы не увидим ни малейшей окраски — налив ее в стаканчик, заметим только, что она синеватая. Но если наполнить такой водою большой сосуд и посмотреть на него издали, мы увидим очень густой синий цвет. Подобный же опыт можно проделать и с другими окрашенными веществами. Так, бургундское вино, взятое в очень малом количестве, кажется едва красноватым; если же посмотреть на большую склянку, наполненную этим вином, красный цвет покажется очень густым.

V. Любая вода, если ею заполнен большой и глубокий водоем, всегда кажется имеющей цвет, хотя вода, взятая в малом объеме, бесцветна и прозрачна. Обычно этот цвет зеленоватый, того или иного оттенка. Это означает, что мельчайшие частицы воды — зеленоватые, хотя цвет их очень бледный, и, чтобы заметить его, нужно смотреть через толщу воды, ибо в этом случае лучи, исходящие от многих частиц, производят совокупный эффект.

VI. В соответствии с этим наблюдением представляется вероятным, что самые малые частицы воды — зеленоватые;³ поэтому можно предположить, что воды моря, озера или пруда кажутся нам зелеными по той же причине, по какой мы видим небо — голубым; ибо следует считать более вероятным, что все частицы воздуха окрашены в голубой цвет, хотя и настолько бледный, что он становится заметным только тогда, когда мы смотрим на огромные

массы воздуха, на всю атмосферу — чем приписывать этот голубой цвет испарениям, которые носятся в воздухе, но сами воздухом не являются.

VII. В самом деле, чем воздух чище и свободнее от испарений, тем ярче голубизна неба; это доказывает достаточно убедительно, что причину явления следует искать в частицах самого воздуха. Посторонние примеси, смешивающиеся с воздухом, напротив, наносят ущерб этой прекрасной голубизне и могут только ослабить ее сияние. Когда воздух перегружен испарениями, они порождают туманы у поверхности Земли и полностью лишают нас зрелища голубого неба; если же испарения поднимаются выше, как это обычно и бывает, из них образуются облака, которые часто закрывают небо целиком и имеют цвет совсем иной, нежели цвет чистого воздуха.

Таким образом, это — еще одно новое свойство воздуха, помимо его легкости, текучести и упругости, с которыми я уже имел честь познакомить В. В., а именно: мельчайшие частицы, из которых состоит воздух, по природе своей — голубоватые.⁴

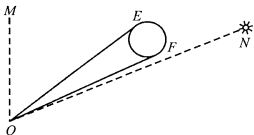
11 мая 1762 г.

Письмо 232

О том, что мы увидели бы, если бы воздух был абсолютно прозрачным, и о плачевном положении, в которое нас повергла бы столь совершенная прозрачность воздуха

Что касается голубой окраски окружающего нас воздуха, без которой мы не наслаждались бы прекрасным зрелищем голубого неба, — я отмечу еще, что мы были бы очень несчастливы, если бы воздух был идеально прозрачным и лишенным этих голубоватых частиц; так что и в этом мы должны признать с благодарностью и восхищением проявление бесконечной благодати и мудрости Создателя.

Чтобы окончательно убедить в этом В. В., предположим, что воздух абсолютно прозрачен и подобен эфиру, который, как мы знаем, проводит все лучи светил, не задерживая ни единого, и не содержит частиц, которые освещались бы лучами (вспомним, что такая частица может быть освещена, только если перхватит некоторое количество падающих на нее лучей). Если бы воздух обладал такими же свойствами, как эфир, все лучи Солнца проходили бы через него свободно, и воздух не посылал бы в наши глаза никакого света: мы не получали бы никаких лучей, кроме тех, что идут непосредственно от Солнца. Поэтому все небо, за исключением того места, где находится Солнце, казалось бы нам совершенно темным — вместо прекрасной сияющей голубизны мы, посмотрев вверх, не увидели бы ничего, кроме самой густой черноты и темной ночи.



Прилагаемый здесь чертеж изображает Солнце; точка O — наблюдатель, глаз которого не получает сверху никаких лучей, кроме как от Солнца, так что весь свет сосредоточен в небольшом угле EOF . Переведя свой взгляд на какой-нибудь другой участок неба, например в M , наблюдатель не получит оттуда никаких лучей, и все

будет выглядеть так, как если бы он смотрел в полную темноту; ибо то, что не посылает лучей света, — черно. Я не принимал в расчет звезды, которыми усеяно небо, — ибо, если направить взгляд в сторону M , ничто не помешало бы лучам звезд, находящихся в этом участке неба, попасть в глаз; более того, эти лучи обладали бы тем большей силой, что они не претерпели никакого ослабления в атмосфере, о котором я писал выше. Все звезды были бы видны среди бела дня, столь же хорошо, как и самую темную ночью; однако нужно помнить, что весь этот «белый день» будет сосредоточен в пределах одного только небольшого угла EOF , а все остальное небо будет таким же темным, как ночью.

Однако звезды, находящиеся в непосредственной близости от Солнца, будут для нас невидимы; и мы не увидим, например, звезду N , поскольку, глядя на нее, наш глаз будет получать одновременно лучи Солнца, которые окажут на него столь сильное воздействие, что слабый свет звезды не сможет вызвать в глазу каких-либо ощущений. Я не говорю здесь о том, что невозможно держать глаза открытыми, глядя в направлении N ; это вполне ясно и подразумевается само собой. Однако, прикрыв Солнце каким-нибудь непрозрачным предметом, который перехватывал бы его лучи, мы тотчас же увидели бы звезду N , сколь бы близко к Солнцу она ни находилась.

В. В. понимает, конечно, в каком печальном положении мы оказались бы; соседство ослепительного сверкания и самой кромешной тьмы ранило бы наше зрение, так что мы тут же бы ослепли. Об этом можно судить по тем неприятным ощущениям, которые мы испытываем, когда быстро переходим из темноты в ярко освещенное место.

Вот от каких неприятностей оберегает нас сама природа воздуха, состоящего из не вполне прозрачных частиц, которые могут освещаться лучами. Как только Солнце поднимется над горизонтом, и даже несколько раньше, вся атмосфера освещается им и являет нам прекрасную голубизну, о которой я имел честь говорить В. В.; так что наш взгляд, в какую бы сторону мы ни обратили его, получает некоторое количество лучей, порожденное вышеупомянутыми частицами. Поэтому если мы подобно наблюдателю на нашем чертеже посмотрим в сторону M , то увидим яркое сияние — сверкающую синеву неба.

Именно это сияние мешает нам видеть звезды днем; причина здесь очевидна: сияющее небо во много раз превосходит яркостью звезды и более слабое тонет

в значительно сильнейшем, так как нервы сетчатки глаза, возбужденные ярким светом, не могут почувствовать слабое воздействие света звезд. В. В. вспомнит, что даже яркость полной Луны в 300 000 раз меньше яркости Солнца.¹ Это убедит В. В. в том, что свет, приходящий к нам от звезд, — ничто по сравнению со сверканием Солнца. Свет одного только дневного неба сам по себе настолько ярок, что, даже если Солнце закрыто облаками, этот свет все же во много тысяч раз превосходит сияние полной Луны. У В. В., наверное, был случай заметить, что даже ночью, если на небе полная Луна, звезды кажутся значительно менее яркими, и тогда мы видим только самые крупные, особенно в соседстве с Луной; ибо более сильный свет всегда подавляет более слабый.

Поэтому то, что наша атмосфера начинает освещаться Солнцем еще раньше, чем оно встанет, дает нам большие преимущества, ибо это подготавливает нас к тому, чтобы выдержать его сверканье, которое было бы непереносимым, если бы переход от ночи к дню был внезапным. Время, в течение которого атмосфера светлеет перед восходом Солнца и остается светлой после его захода, называется сумерками. Поскольку обсуждение этой темы заслуживает некоторого внимания, я предполагаю побеседовать о ней с В. В. более подробно.

Так одна физическая проблема приводит нас к рассмотрению последующих.

15 мая 1762 г.

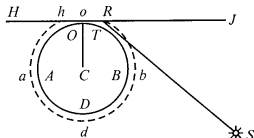
Письмо 233

О преломлении лучей света при входе их в атмосферу, об эффектах этой рефракции.

О сумерках и о видимом восходе и заходе звезд

Чтобы объяснить, почему бывают сумерки, иначе говоря, почему небо светлеет перед восходом Солнца и остается светлым некоторое время после его захода, мне достаточно напомнить В. В. то, что я уже имел честь сообщать о горизонте и атмосфере.

Пусть окружность $AOBD$ изображает Землю, а обозначенная пунктиром окружность $aobd$ — атмосферу. Взяв некоторую точку O на Земле, проведем через нее прямую $HORJ$, касательную к поверхности Земли в точке O ; эта линия будет изображать горизонт, отделяющий видимую часть неба от той, что нам невидима. Следовательно, когда Солнце — на восходе или закате — достигает этой линии, оно оказывается у горизонта, и тогда вся атмосфера им освещена. Но предположим, что Солнце перед восходом нахо-



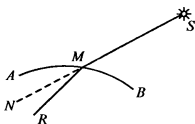
дится перед восходом нахо-

дится еще под горизонтом, в точке S ; тогда луч STR , пройдя над самой Землей в точке T , может достичь того участка атмосферы, который находится на нашем горизонте; непрозрачные частицы будут освещены там этим лучом и тем самым станут для нас видимы. Таким образом, уже за некоторое время перед восходом Солнца участок hoR атмосферы у нашего горизонта освещается, начиная с точки R , и, по мере того как Солнце будет подниматься к горизонту, все большая часть атмосферы будет освещаться Солнцем, пока, наконец, вся она не станет светоносной.

Это рассуждение ведет меня к другому, не менее интересному явлению, тесно связанному с предыдущим; дело в том, что наличие атмосферы порождает еще один эффект, в силу которого мы начинаем видеть Солнце и другие светила несколько раньше, чем они покажутся над горизонтом, а также некоторое время после их захода. Причина тому — преломление, испытываемое лучами при переходе из чистого эфира в плотный воздух, из которого состоит наша атмосфера. Я объясню, что при этом происходит.

I. Лучи света сохраняют прямолинейность своего движения лишь до тех пор, пока свойства прозрачной среды, в которой они движутся, остаются неизменными. Когда лучи переходят из одной среды в другую, они отклоняются от прямой линии, и их путь как бы переламывается. Это явление называют преломлением; о нем я имел честь писать В. В. довольно подробно — когда рассказывал о преломлении лучей при переходе их из воздуха в стекло и обратно.

II. Поскольку эфир и воздух — среды различные, то, когда луч переходит из эфира в воздух, он неизбежно испытывает некоторое преломление.

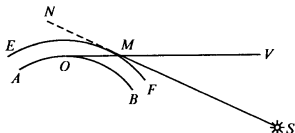


Итак, предположим, что AMB — дуга окружности, ограничивающей нашу атмосферу сверху; когда луч MS , двигавшийся в эфире, попадает в точку M , он, войдя в воздух, пойдет не по продолжению MN своего прежнего направления, но примет другое направление MR , несколько отличающееся от MN . Угол NMR называется углом преломления, или просто рефракцией.

III. Я уже отмечал, что рефракция тем больше, чем более наклонно падает луч SM на поверхность атмосферы, т. е. чем меньше или острее угол BMS ; ибо если бы луч SM падал перпендикулярно поверхности атмосферы, т. е. если бы угол BMS был прямым, то не было бы никакого преломления, и луч продолжал бы двигаться по прежнему направлению. Это правило распространяется на все случаи преломления независимо от того, через какие среды проходят лучи.

IV. Пусть дуга AOB изображает поверхность Земли, а дуга EMF обозначает границы атмосферы. Если провести через точку O прямую OMV , касательную к поверхности Земли в точке O , эта прямая пройдет горизонтально. Солнце пусть по-прежнему находится под горизонтом, в S ; оно все еще остается не-

видимым для нас, так как ни один из его лучей не может прийти к нам по прямой, и луч SM , двигаясь по прямой линии, прошел бы над нами, через точку N . Но так как в точке M он входит в атмосферу, и притом очень наклонно, то, поскольку угол FMS очень мал, луч испытает довольно



значительное преломление, и вместо того, чтобы попасть в N , он может достичь точки O ; и тогда мы увидим Солнце несмотря на то, что оно в этот момент будет еще под горизонтом, т. е. под горизонтальной линией OMV .

V. Однако, поскольку луч MO , попадающий в глаз наблюдателя, имеет горизонтальное направление, мы мысленно помещаем Солнце в том направлении, откуда пришел луч, и полагаем, что оно находится в V , т. е. на горизонте, тогда как в действительности оно под горизонтом. Поэтому всякий раз, когда мы видим Солнце или любое другое светило на горизонте, мы должны заключить, что на самом деле оно — под горизонтом, ниже его на угол SMV ; величина этого угла, измеренная астрономами, соответствует примерно половине градуса, или, точнее, 32 минутам.

VI. Итак, утром мы видим Солнце еще до того, как оно достигло нашего горизонта и находится ниже на 32 угловые минуты; вечером же мы видим Солнце и после его истинного захода, поскольку оно остается видимым, пока не опустится под горизонт на 32 угловые минуты. Истинным восходом или заходом Солнца называют то положение Солнца, когда оно в самом деле находится на горизонте; однако тогда, когда оно начинает показываться утром или исчезать вечером, — это видимый или кажущийся восход или заход Солнца.

VII. Атмосферная рефракция, благодаря которой видимый восход Солнца предшествует истинному, — эта рефракция позволяет нам наслаждаться днями более продолжительными, чем они были бы, если бы не эффект атмосферы.

Таково объяснение этого важного явления.

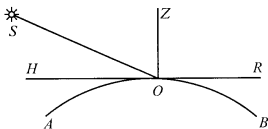
18 мая 1762 г.

Письмо 234

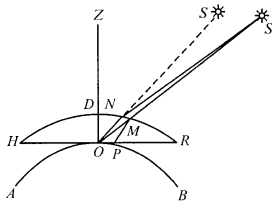
О том, что звезды кажутся нам находящимися выше, чем в действительности, и о таблице рефракций

В. В. понятен теперь удивительный эффект нашей атмосферы, благодаря которому мы видим Солнце и все небесные светила у горизонта, в то время как они еще под горизонтом и были бы невидимы для нас, если бы не атмосферная рефракция. По той же причине Солнце (так же, как и другие светила)

всегда представляется нам стоящим выше над горизонтом, чем это есть в действительности. Поэтому необходимо строго различать видимую высоту светила и его истинную высоту, т. е. ту, на которой оно было бы видно, если бы не было атмосферы. Я постараюсь изложить этот вопрос с полной ясностью.



ней грузом. Линия OZ будет в точке O вертикалью, а точка в небе, куда указывает эта прямая, называется зенитом. Прямая OZ перпендикулярна горизонтальной линии HOR , так что если известно положение одной из них, можно легко определить положение другой.



и вертикальной линией OZ , направленной в зенит, и, поскольку угол ZOR — прямой, т. е. равен 90° , — достаточно вычесть угол SOZ из 90° , чтобы получить угол SOR , соответствующий истинной высоте светила.

III. Учет теперь влияние атмосферы; предположим, что она ограничена дугою $HDNMR$. Отмечу, во-первых, что упомянутый выше луч SM , испускаемый светилом, войдя в атмосферу в точке M , не продолжит свой путь по направлению к глазу O наблюдателя, но благодаря рефракции пойдет по другому направлению, MP , и, следовательно, в наши глаза не попадет; таким образом, если бы светило посылало на Землю только один этот луч SM , оно оставалось бы невидимым. Однако следует принять во внимание, что любая светящаяся точка посылает лучи во все стороны, и все пространство ими заполнено.

IV. Поэтому среди всяких иных лучей найдется и некий луч SM , который преломится в верхней части атмосферы, в N , таким образом, что, двигаясь

I. Пусть дуга AOB изображает участок земной поверхности, а точка O — место, где мы находимся; проведем через эту точку прямую HOR касательно к земной поверхности. Эта прямая укажет нам истинную линию горизонта. В точке O восставим перпендикуляр OZ ; его направление совпадает с тем, которое указывает нить с подвешенным на

II. Коль скоро это так, пусть светило находится в точке S , и, если бы не было атмосферы, луч SMO , двигаясь по прямой, попадал бы в глаз наблюдателя O ; мы увидели бы светило в направлении OMS , там, где оно действительно находится, т. е. на его истинном месте. Тогда нам нужно было бы измерить угол SOR , составленный лучом SO и горизонтом OR ; этот угол называется высотой, или возвышением светила над горизонтом. Или же мы могли бы измерить угол SOZ , составленный лучом SO

далее по направлению NO , он попадет точно в глаз наблюдателя. Преломленный луч NO не составляет единой прямой линии с лучом SM ; если продолжить прямую NO в направлении s , ее продолжение Ns составит угол с лучом NS , а именно угол SNs , который мы называем рефракцией; он тем больше, чем острее угол SNR , под которым луч SN входит в атмосферу — как я уже отмечал в предыдущем письме.

V. Следовательно, изображение светила S в нашем глазу создается теперь лучом NO , который делает это светило видимым; и поскольку луч приходит к нам по прямой NO , как если бы светило находилось именно в этом направлении, — мы думаем, что оно находится в направлении NO или где-нибудь на продолжении этой прямой в некоторой точке s . Поскольку эта точка s отлична от истинного положения S светила, мы называем s видимым положением светила. Его нужно отличать от истинного положения S , в котором мы увидели бы светило, если бы не было атмосферы.

VI. Далее, поскольку мы видим светило в направлении луча NO , угол NOR этого луча с горизонтом есть видимая высота светила; измерив угол NOR при помощи инструментов, положенных для этой операции, говорят, что найдена видимая высота светила; истинная же высота светила выражается, как мы видели, углом ROS .

VII. Из этого следует с очевидностью, что видимая высота RON больше истинной высоты ROM ; вот почему светила представляются нам стоящими выше над горизонтом, чем на самом деле, и происходит это по той же причине, по которой мы видим светила у горизонта тогда, когда они еще под горизонтом. Избыток видимой высоты над истинной выражается углом MON , который не отличается от угла SNs , называемого рефракцией, ибо, хотя угол SNs , будучи внешним по отношению к треугольнику SNO , равен двум внутренним, не смежным с ним углам SON и NSO , вместе взятым, — нужно принять во внимание, что ввиду огромной удаленности светил, прямые OS и NS параллельны; следовательно, угол OSN исчезающе мал, и поэтому угол SON почти в точности равен углу рефракции SNs .

VIII. Следовательно, найдя видимую высоту светила, нужно вычесть из нее рефракцию, чтобы получить его истинную высоту, которую нельзя узнать иначе, как таким способом. Астрономы затратили немало труда, чтобы точно определить величины рефракции, которые следует вычитать из каждой видимой высоты; или, что то же самое, — чтобы узнать, на какую величину нужно понизить видимое положение светила, чтобы получить его истинное положение.

IX. После долгих наблюдений астрономы составили в конце концов таблицу, называемую таблицей рефракций, в которой для каждой видимой высоты указана рефракция, т. е. угол, который необходимо из этой величины вычесть. Так, если видимая высота равна нулю, т. е., когда светило показалось у горизонта, рефракция равна $32'$; на такую величину следует «опустить» светило под горизонт. Однако, если светило кажется стоящим хоть немного выше го-

ризонта, рефракция становится значительно меньше. На высоте 15° рефракция равна уже всего $4'$, на высоте 40° — $1'$, на еще бóльших высотах она становится все меньше и меньше и на высоте 90° исчезает полностью.

Х. Это происходит тогда, когда светило наблюдается в самом зените, ибо тогда его высота равна 90° , и истинная высота совпадает с видимой. Иными словами, мы уверены, что светило, которое мы видим в зените, действительно там находится, и что рефракция атмосферы не изменяет его положения в отличие от того, что происходит во всех иных положениях.

INFINIX

Л. ЭЙЛЕР. ПИСЬМА К НЕМЕЦКОЙ ПРИНЦЕССЕ О РАЗНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЛОСОФСКИХ МАТЕРИЯХ

Книга Л. Эйлера «Письма к немецкой принцессе...» является популярным изложением основных проблем фундаментальной науки XVIII в. Издание представляет собой подготовленный группой переводчиков и сотрудников СПб. филиала ИИЕиТ РАН по инициативе профессора Я. А. Смородинского современный русский перевод с подробным комментарием и статьями. В своей книге Л. Эйлер не просто обсуждает основные проблемы фундаментальной науки своего времени, но трактует их с точки зрения Петербургской Академии наук, которая с первых же дней своей деятельности встала на сторону И. Ньютона, в то время как на континенте Европы долго еще господствовало картезианство. Л. Эйлер, с 1741 г. работая в Берлинской Академии наук, чувствовал там себя полномочным представителем петербургской научной школы и защищал ее позиции. В частности, петербургские ученые не разделяли мнения Х. Вольфа о том, что философы имеют право диктовать физикам, из каких частиц состоят физические тела. Петербургские ученые полагали, что физики должны в эксперименте выяснить, из каких частиц состоят эти тела, а затем уже философы могут обсуждать, что с ними должно происходить. Философы не могут навязывать физикам придуманные частицы.

Именно по настоянию Л. Эйлера в Берлинской Академии наук был проведен антивольфианский конкурс, и под нажимом Эйлера была премирована антивольфианская работа. Подобных примеров можно привести много, все они лишь подтвердят сказанное. Становится ясно, почему эта весьма популярная и в современном мире книга Эйлера не могла быть опубликована в Германии, куда в 1741 г. переехал Эйлер и где взгляды Х. Вольфа и он сам были очень модны. Когда же Эйлер в 1766 г. вернулся в Россию, здесь книга сразу же была издана во французском оригинале и в русском переводе С. Я. Румовского.

Не перечисляя всех важных проблем естествознания, философии науки, логики и т. п., обсуждавшихся Эйлером в этой книге, следует отметить и тот любопытный факт, что «принцесса», которой адресованы письма, не является воображаемым литературным персонажем, как это было принято в литературе XVIII в.

Стремясь внедрить в науку Германии передовые идеи естествознания XVIII в., Эйлер взялся преподавать математику, механику, физику и философию науки двум сестрам, племянницам Фридриха II, в надежде, что когда-ни-

будь они займут видное положение в обществе Германии и смогут поддержать верные научные взгляды. Имена этих принцесс удалось выяснить.¹ После долгих безуспешных поисков с помощью немецких коллег были найдены и их портреты.

Как выяснилось, Эйлер начал обучать принцесс в Берлине, а после переезда их с началом Семилетней войны из столицы в Магдебург он продолжал обучение, посылая им письма туда. При проверке оказалось, что даты всех писем точно совпадают с датами «почтовых дней», когда почта отправлялась из Берлина в Магдебург.

Итак, к известным письмам Л. Эйлера, каждая новая строчка которых считается важной для науки, удалось добавить 234 письма, собственноручно написанных Эйлером и посвященных важнейшим проблемам естествознания и философии науки!

Книга Эйлера переведена уже более чем на 20 языков мира и неоднократно переиздавалась в разных странах Европы и Америки. И только на современном русском языке и с подробным современным комментарием до сих пор нет ни единого издания! Что же касается перевода С. Я. Румовского, ставшего сегодня раритетом, то русский язык XVIII в. теперь непонятен даже современным русским... А ведь эту книгу Л. Эйлер писал прежде всего для нас, защищая взгляды российской науки!

¹ Материалы о старшей принцессе получены благодаря любезности д-ра Г. Кратца из университетской и земельной библиотеки г. Мюнстера и г-жи Сони Ланггафель, заместителя директора Музея Херфорда.

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ «ПИСЕМ К НЕМЕЦКОЙ ПРИНЦЕССЕ» И ИХ АДРЕСАТЫ

Предлагаемые читателю «Письма к немецкой принцессе о различных физических и философских материях» занимают особое место в научном наследии Леонарда Эйлера. Сочинение написано в необычной для Эйлера эпистолярной форме и представляет собой изложение основ естествознания и философии того времени в его трактовке; оно носит яркий отпечаток личности автора, его многолетних исканий и раздумий о природе физических явлений, его представлений о строении Вселенной, о философской и физической картине мира. Этот весьма серьезный и сложный научный материал преподносится в виде писем-бесед, в которых научная строгость сочетается с ясностью и доступностью изложения, рассчитанного на неподготовленного читателя.

«Письма» были изданы анонимно, однако авторство Эйлера ни для кого не было тайной. Впервые «Письма» были опубликованы в Петербурге по-французски и в русском переводе.

17/28 июля 1766 г. Леонард Эйлер с семьей после 25-летнего пребывания в Берлине возвратился в Петербург. С собой он привез много рукописей, которые не смог или не успел издать в Германии. Поэтому, несмотря на постигшую его вскоре после приезда в Петербург тяжелую болезнь, вследствие которой он почти полностью лишился зрения, его рукописи непрерывным потоком поступали в академическое Собрание. Представлял их старший сын Эйлера Иоганн Альбрехт.

21 мая/1 июня 1767 г. в академическом Собрании было представлено сочинение Эйлера «Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях» на французском языке.¹ В протоколе заседания по этому поводу сказано: «Г-н профессор Эйлер передал академической Конференции рукопись своего отца „Письма к немецкой принцессе о различных физических и философских материях“ и сообщил о его желании, чтобы они были отосланы для напечатания в академическое издательство. Это было принято без возражений, с учетом того большого интереса, с каким принимались до сих пор в ученом мире все сочинения г-на профессора. Данное сочинение может рассчитывать на благосклонный прием, тем более что оно излагает в общепонятной форме мысли г-на профессора Эйлера о важнейших и новейших

¹ Протоколы заседаний Конференции Имп. Академии наук с 1725 по 1803 г. СПб., 1911. Т. 2. С. 604.

философских теориях. Затем рукопись была передана академической комиссии² с представлением, что печатание ее должно осуществляться под наблюдением г-на профессора Эйлера-младшего».³

В тот же день в журнале Комиссии сделана запись о печатании сочинения Эйлера.⁴

Дальше события развивались с удивительной быстротой. Уже в октябре того же года ученик Эйлера С. Я. Румовский (с июля 1754 г. по июль 1756 г. он был направлен Академией учиться к Эйлеру в Берлин и жил у него в доме) доложил Комиссии о подготовленном им для печати русском переводе первого тома «Писем»,⁵ а в начале марта 1768 г. русский том вышел из печати почти одновременно с французским. Видимо, Румовский делал свой перевод с рукописи, беря ее по частям из типографии. Со вторым томом такой «параллельности» не получилось: французский вариант вышел в свет в том же 1768 г., а русский — только в 1772-м. Возможно, Румовского отвлекла от этой работы подготовка к экспедиции 1769 г. в Селенгинск для наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца. Третий том вышел по-французски в 1772 г., по-русски — в 1774-м. Русские переводы Румовского до конца XVIII в. выдержали три издания: в 1775, 1790/91 и 1798 гг. О переводах французского текста на другие языки речь пойдет ниже.

Что же представляли собой эти «Письма», рукопись которых Эйлер привез из Берлина?

Читатель мог рассматривать их как ему заблагорассудится: как реальные письма, имевшие конкретного адресата, или как научный трактат, облеченный в эпистолярную форму, — весьма распространенный в то время литературный жанр «писем к сыну», «писем к другу» и т. п.

Таким образом, и принцесса могла восприниматься читателем как некая условность. Исследователи нашего времени указывают, что выбранная Эйлером в заглавии форма (*Princesse d'Allemagne*) означала, собственно, не «немецкая принцесса» (в этом случае было бы *Princesse allemande*), а «принцесса Германии», и в этом, по их мнению, содержится указание на то, что речь идет не о дочери одного из многочисленных маркграфских или княжеских семейств, а о девице, состоящей в родстве с королевской семьей. Как бы то ни было, при жизни Эйлера вопрос об адресате «Писем» в литературе не обсуждался.

Первое высказывание на эту тему, появившееся в печати, принадлежало Николаю Фусу, ученику Д. Бернулли и Л. Эйлера, жившему в семье Эйлера и общавшемуся со своим учителем не только по научным делам. Фус мог

² Комиссия по управлению делами Академии была учреждена в 1765 г. вместо упраздненной Канцелярии.

³ ПФА РАН, ф. 3, оп. 1, № 537, л. 149.

⁴ Там же, № 308, л. 354.

⁵ Протоколы заседаний Конференции Имп. Академии наук с 1725 по 1803 г. Т. 2. С. 604.

знать о жизни Эйлера по его собственным рассказам. В «Похвальном слове Леонарду Эйлеру», произнесенном в заседании Петербургской Академии наук 23 октября 1783 г., Фус сказал: «В то же самое время, когда Академия опубликовала этот важный труд, ее типография была занята печатанием „Писем к немецкой принцессе“, „Интегрального исчисления“, „Элементов алгебры“, вычислением кометы 1769, затмения Солнца и прохождения Венеры в том же году, новой теории Луны и теории навигации, не считая большого числа статей, которые находятся в томах „Записок“ этого периода... Едва лишь первое из этих сочинений появилось, г-н Румовский перевел его на русский язык. Было напечатано новое издание в Париже и немецкий перевод в Лейпциге. Что же касается его содержания, достаточно заметить, что, поскольку оно доступно самому широкому кругу читателей и даже прекрасному полу, оно немало способствовало распространению славы его автора, и он стал дорог и тем, кто может судить о нем только по этим письмам к немецкой принцессе».⁶

В том же «Похвальном слове» Н. Фус замечал: «В июне месяце Эйлер покинул Берлин, где в течение 25 лет пользовался уважением, соответствующим его выдающимся способностям. Принцы королевского дома, и в особенности маркграф Бранденбург-Шведт, были опечалены его отъездом и засвидетельствовали ему это самым лестным образом».⁷ Примечание к этому фрагменту «Похвального слова» сделано самим Н. Фусом и чрезвычайно важно для установления тех, кому адресовал свои письма Эйлер. Приведем это примечание: «К привычке тесного дружеского общения, которое этот принц имел с ним, прибавилось, став причиной его искреннего сожаления, чувство особой признательности за все, чем г-н Эйлер способствовал духовному развитию принцесс, дочерей маркграфа. Он давал им уроки и именно им написал во время пребывания двора в Магдебурге письма о разных физических и философских материях, которые опубликовал после возвращения в Петербург».⁸

Заметим, что в русском переводе «Похвального слова», сделанном С. Я. Румовским, допущено несколько неточностей. Для сравнения приведем соответствующий отрывок в переводе Румовского: «Кроме дружеского и откровенного Маркграфа обращения побуждала сожалеть о потере Ейлера благодарность, которою обязан он был сему великому мужу за наставление двух его дочерей. К старшей из них, которая ныне Абтисса в Герфордине, во время пребывания Королевской фамилии в Магдебурге, писаны письма

⁶ Fuss N. Éloge de L. Euler, lu à l'Académie Imp. des sciences de St.-Petersbourg le 23 Octobre 1783 // Nova Acta Acad. sci. Imp. Petropolitanae. Histoire (1783). 1787. T. 1. P. 196; Euler L. Commentationes arithmeticae collectae. Petropoli, 1849. T. 1. P. XLIII—XLIV. Цитата дана в переводе Е. П. Ожиговой.

⁷ Fuss N. Éloge de L. Euler... P. 193.

⁸ Там же.

о разных Физических и Философических материях, изданные по прибытии его в Санктпетербург».⁹

Мы видим, что адресатом «Писем» у Румовского вместо двух дочерей маркграфа Бранденбург-Шведт названа лишь одна — аббатиса в Херфорде (у Румовского ошибочно — «Герфордене»). Сам маркграф у Румовского назван «владельческий Маркграф Магдебург-Шведский»¹⁰ вместо «маркграф Бранденбург-Шведт»!

При публикации «Похвального слова» Н. Фуса в издании «Собрания арифметических статей» Л. Эйлера в 1849 г., подготовленном П. Н. Фусом, П. Л. Чебышевым и В. Я. Буняковским, соответствующее место дано в первоначальном виде (как у самого Н. И. Фуса) — адресатами «Писем» названы обе принцессы, дочери маркграфа Бранденбург-Шведт.¹¹ В 1988 г. был перепечатан перевод Румовского с сохранением его погрешностей.¹²

Итак, Фус позволяет нам установить время написания «Писем» — время пребывания семейства маркграфа Бранденбург-Шведт в Магдебурге, 1760—1762 гг., подтверждает, что письма — реальные, посылавшиеся из Берлина в Магдебург, и называет тех, кому «Письма» предназначались.¹³

В пользу того, что письма были реальными, свидетельствует также их датировка. Можно заметить, что за редким исключением письма отправлялись в определенные, а именно в «почтовые», дни, по вторникам и субботам (когда из Берлина в Магдебург посылалась почта). Периодичность эта нарушена только в письмах 4—6, написанных в один и тот же день, и в письмах августа и сентября 1760 г., когда по каким-то причинам (возможно, из-за военных действий) сообщение между Берлином и Магдебургом было усилено. Эйлер отправлял свои письма чаще обычного: 16 писем в августе и 13 в сентябре вместо 8—9 в месяц, как всегда. Дальше снова восстановилась строгая периодичность, так что, глядя на дату любого письма, можно безошибочно назвать дату следующего. Кстати, почти все сохранившиеся письма Эйлера из Берлина к разным лицам написаны в те же дни недели.

В дальнейшем биографы Эйлера и издатели «Писем к немецкой принцессе» забыли об указании Фуса относительно «принцесс», т. е. двух дочерей маркграфа Бранденбург-Шведт, заимствовав у него лишь упоминание об их отце.

⁹ Академические сочинения. СПб., 1801. Ч. 1. С. 97—167.

¹⁰ Там же. С. 142—143.

¹¹ Euler L. Commentationes arithmeticae collectae. Т. 1. Р. XLII—XLIII.

¹² Развитие идей Л. Эйлера и современная наука. М., 1988. С. 369. — Нам представляется, что большего доверия заслуживает свидетельство Н. Фуса, подтвержденное издателями «Арифметических сочинений» Эйлера в 1849 г. Заметим, что в переводе С. Я. Румовского имеются и другие неточности.

¹³ В книгу «Л. Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель» (Л., 1967) так же, как и в составленный на основе этой книги 1-й том 4А серии «Opera Omnia» Эйлера (Basel, 1975), «Письма к немецкой принцессе» не были включены, так как авторство Эйлера находилось под сомнением. Но в 1960 г. оно было доказано, и «Письма» заняли свое место в «Opera Omnia».

Непременный секретарь Парижской Академии наук, математик и философ М. Ж. А. Н. Кондорсе,¹⁴ произносивший после смерти Эйлера «Похвальное слово»,¹⁵ упомянул о «Письмах к принцессе», назвав их адресатом племянницу прусского короля Фридриха II принцессу Ангальт-Дессау.¹⁶ Вслед за ним это имя повторили и другие издатели «Писем».¹⁷

Делались и другие предположения. Например, издатель «Писем к немецкой принцессе» в Полном собрании сочинений Эйлера (*Opera Omnia*) А. Шпайзер считал, что письма были написаны Эйлером для маркграфини Фредерики Шарлотты Людовики Луизы (1745—1808),¹⁸ еще в детстве предназначенной для духовного звания и с 1765 г. бывшей аббатисой в Херфорде. Шпайзер установил ее родство с королем Фридрихом II. Оно восходит к последнему бранденбургскому курфюрсту Фридриху Вильгельму, сын которого стал первым прусским королем Фридрихом I, а сын от другого брака — Филипп Вильгельм — маркграфом Бранденбург-Шведт. Сын Филиппа Вильгельма Фридрих Генрих был отцом принцессы Фредерики (а следовательно, и ее сестры Луизы. — *Авт.*), а матерью была Леопольдина Мария, принцесса фон Ангальт-Дессау; дочь князя Леопольда I, прозванного «старым дессауэцем» («*Der Alte Dessauer*»). Впоследствии Фридрих II сослал мать девочек в крепость Кольберг в Силезии и запретил супругам и развод, и примирение, так как, желая унаследовать Шведт, не хотел, чтобы у супругов были сыновья.

Фредерика воспитывалась без матери. Ко времени написания писем Эйлера ей было 15—17 лет. Шпайзер замечает: «Отсюда ясно, что он (Эйлер. — *Авт.*) предполагал опубликовать письма, так как для принцессы 15 лет последующие письма, до № 132, чересчур трудны, если не считать случайных, легче воспринимаемых разделов». Но очень возможно, предполагает Шпайзер, что отец желал сделать из своей дочери высокообразованную даму, так как среди ее предшественниц в Херфорде была дочь графа Пфальцского Фридриха V Елизавета (в 1667—1680 гг. — аббатиса в Херфорде). «Наша принцесса, видимо, не оставила никаких следов, по крайней мере позднее о ней не говорилось ничего особенного».¹⁹

В книге «Леонард Эйлер и немецкая философия»²⁰ Шпайзер называет ту же самую принцессу, ставшую аббатисой в Херфорде, Софией Фредерикой

¹⁴ М. Ж. А. Н. Кондорсе (1743—1794) — известный французский ученый и общественный деятель, непременный секретарь Парижской Академии наук, иностранный член Петербургской Академии наук (1776), жирондист. Был приговорен к гильотинированию, отравился в тюрьме.

¹⁵ *Condorcet M. Éloge de M. Euler // Lettres de M. Euler à une princesse d'Allemagne sur différentes questions de physique et de Philosophie / Nouvelle édition. Paris, 1787. T. 1; 1789. T. 2; 1789. T. 3 (см. T. 1. P. IX—XLIV).*

¹⁶ *Ibid.* P. XXIX.

¹⁷ *Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... Paris; Charpentier, 1859. T. 1. P. XX.*

¹⁸ *Leonhardi Euleri Opera Omnia. Ser. 3. Zürich, 1960. T. 11. P. VII.*

¹⁹ *Ibid.* P. XI—XII. Перевод Е. П. Ожиговой.

²⁰ *Speiser A. Leonhard Euler und die deutsche Philosophie. Zürich, 1934. S. 12.*

Шарлоттой Леопольдиной. Профессор О. Шписс в книге «Леонард Эйлер», изданной в 1929 г., писал: «В 1760—61 гг. появились знаменитые „Письма к немецкой принцессе“. Ею была старшая дочь маркграфа Бранденбург-Шведт, которой Эйлер в более чем ста (кстати, писем 234. — *Авт.*) письмах на французском языке изложил в популярной форме всю физику, наряду с критикой учения о монадах, которой, к счастью, Вольфу не довелось пережить».²¹ Таким образом, Шписс говорит о старшей дочери маркграфа, а Шпайзер — о единственной дочери, но называет ее два раза по-разному.

У маркграфа Фридриха Генриха Бранденбург-Шведт было две дочери: Фредерика Шарлотта Леопольдина Луиза (или, по другим сведениям, — Фредерика София Шарлотта Леопольдина, 1745—1808) и Луиза Генриетта Вильгельмина (1750—1811).²²

Фридрих Генрих, отец принцесс, был другом Леонарда Эйлера, они переписывались. По свидетельству Фуса, Эйлер занимался с обеими принцессами и им обоим писал письма. Они обе были принцессами Бранденбург-Шведт, а не Ангальт-Дессау (это была фамилия их матери Леопольдины Марии).

Тот факт, что Эйлер писал письма обеим принцессам, подтверждается словами самого Эйлера, писавшего из Петербурга маркграфу Фридриху Генриху или, как называл его Эйлер, принцу Генриху: «Осмеливаюсь покорнейше сообщить Вашему высочеству, что письма, которые я имел честь писать их высочествам милостивым принцессам в Магдебург, здесь напечатаны и через несколько месяцев выйдут в свет. Тогда я не премину исполнить свой долг — покорнейше послать несколько экземпляров Вашему высочеству».²³ 14 мая 1773 г. Эйлер сообщает принцу Генриху: «Недавно здесь вышла в свет последняя часть писем, которые я имел честь писать в свое время их высочествам принцессам. Осмеливаюсь преподнести Вашему высочеству шесть экземпляров через тайного советника Формея».²⁴

Правда, еще раньше, в 1767 г., в письме директору Петербургской Академии наук графу В. Г. Орлову (1743—1831) Эйлер писал иначе: «Кроме моего сочинения по интегральному исчислению теперь в Академии печатают еще два других, одно из них — собрание писем, которые во время последней войны я писал в Магдебург старшей принцессе, дочери маркграфа Генриха, ныне аббатисе в Херфорде, по важнейшим предметам физики и философии. Еще

²¹ Spiess O. Leonhard Euler: Ein Beitrag zur Geistesgeschichte des XVIII. Jahrhunderts. Frauenfeld: Leipzig, 1929. S. 159. Перевод Е. П. Ожигровой.

²² Год рождения взят из кн.: Goethe Handbuch. Stuttgart, 1961. Bd 1. K. 281. В «Almanach de Gotha» за 1770 г. указана дата 24 сентября 1750 г.

²³ ПФА РАН, ф. 136, оп. 2, д. 23, л. 3 об. Перевод Ю. Х. Копелевич. — Письмо сохранилось в черновике и относится к июлю 1767 г., так как в нем говорится о предстоящей свадьбе Луизы (младшей дочери), состоявшейся 26 июля 1767 г. (Allgemeine deutsche Biographie. Bielfeld, 1993. Bd 50. S. 359). «Almanach de Gotha» (1770) указывает 25 июля 1767 г.

²⁴ ПФА РАН, ф. 136, оп. 2, д. 23, л. 2. — Ж. А. С. Формей (1711—1797) — непреременный секретарь Берлинской Академии наук (1748), почетный член Петербургской Академии наук.

в Берлине я хотел их напечатать. Теперь они скоро выйдут здесь под заглавием...».²⁵

Из этих двух свидетельств Эйлера, очевидно, следует опираться на первое: ведь юному любимцу императрицы Екатерины II графу В. Г. Орлову было безразлично, одной или двум девочкам писались письма. А уж отец принцесс, принц Генрих, точно знал, кому адресовывались письма Эйлера, и потому утверждение Эйлера в письмах к маркграфу не вызывает сомнений, Орлову же Эйлер сообщил то, что могло пояснить заглавие книги. О двух принцессах, со слов Эйлера, писал и Фус.

О младшей сестре, Луизе, Эйлер упоминает в цитированном выше письме к маркграфу (июль 1767 г.): «Пусть Всевышний хранит в постоянном процветании и щедро осыпает всяческими милостями Ваш высокий маркграфский дом и особенно пусть будет благословенно и счастливо обручение любезнейшей принцессы Вашей младшей дочери с сиятельнейшим князем Ангальт-Дессау к вечной радости Вашего высочества...».²⁶

Наши сведения о старшей сестре, ставшей в двадцатилетнем возрасте аббатисой в Херфорде, были очень скудны. Лишь недавно благодаря любезности немецких коллег мы получили из городского музея Херфорда ²⁷ недостающую нам информацию.²⁸ Этот город некогда входил в Ганзейский союз и был довольно богатым. Не случайно, что именно там, при аббатстве Херфорда, был основан штифт ²⁹ для знатных дам княжеского рода, которым предлагалось ухаживать за больными в принадлежащем аббатству госпитале. Первой аббатисой стала бабушка принцесс — Иоганна Шарлотта, маркграфиня фон Бранденбург-Шведт (1682—1750), высокообразованная дама. К такой же роли по воле Фридриха II готовили и старшую сестру. Она (вместе со своей сестрой) получила блестящее образование, чтобы достойно управлять аббатством, при котором находился госпиталь, где работали монахини. Аббатство было самым крупным учреждением города, и руководить им оказалось непросто. Однако Фредерика Шарлотта Леопольдина Луиза успешно справлялась со своими обязанностями. В этом ей немало помогало ее всестороннее образование и незаурядный ум. Она пользовалась большим авторитетом как в аббатстве, так и в городе. Для того чтобы улучшить работу госпиталя, она решилась в 1764—

²⁵ ПФА РАН, ф. 136, оп. 2, № 9, л. 1. Перевод Ю. Х. Копелевич.

²⁶ Там же, № 23, л. 1. Перевод Ю. Х. Копелевич.

²⁷ Он назывался «Das Heimat-Museum in Herford», теперь «Daniel-Pöppelmann-Haus».

²⁸ Мы получили вырезки из газет: Herforder Kreisblatt («Херфордская районная газета»). 1893. 11 ноября; Herforder Heimatblatt. 1993. № 5—12; Neue Westfälische Sonntagsblatt («Новая Вестфальская вечерка»). 1993. № 24. 25 сент. Sonderdruck aus Beiträge zur Westfälischen Familienforschung herausgegeben im Auftrag der Westfälischen Gesellschaft für Genealogie und Familienforschung von Bockhorst. Bielfeld, 1993. Bd 51; Historisches Jahrbuch für den Kreis Herford... Bielfeld, 1993. Перевод Н. И. Невской.

²⁹ Штифт — сугубо немецкое учреждение. Оно создавалось на средства каких-либо организаций, чаще церковных, для определенной цели.

1808 г. включить в штат монастыря нескольких мужчин, которые помогали работе в госпитале. Херфордский штифт, так же как и его госпиталь, были очень модны в свое время. Туда приезжало много гостей, чтобы познакомиться с отлично налаженной работой госпиталя. Он считался в то время образцовым учреждением, и «даже в середине XIX в. с ним не могли сравниться большинство госпиталей тогдашней Германии».³⁰

В 1766 г. в результате наполеоновских войн Херфорд заняли французские войска, упразднившие Херфордский штифт 16 июня 1766 г., последней аббатисе было разрешено здесь остаться. Она прожила в городе как частное лицо вплоть до своей смерти 23 января 1808 г., и благодарные жители устроили ей пышные похороны.

Что же касается младшей, то ее след в немецкой культуре второй половины XVIII—начала XIX в. не затерялся.

В известных нам изданиях «Писем к немецкой принцессе» об этой принцессе ничего не говорилось. Мы узнали о ней из надписи на одном из экземпляров «Писем», хранящемся в Библиотеке РАН в Петербурге. На титульном листе немецкого перевода, выпущенного в Лейпциге 1780—1784 г. И. Ф. Юлиусом,³¹ написано чернилами: «Эйлер» (напомним, что имени автора в печатном тексте титульного листа нет) и дальше надпись на немецком языке: «Шарлотта Бедбери, урожденная Кампен-Гаузен». На чистой странице перед титульным листом еще одна надпись той же рукой: «Эти письма были написаны к скончавшейся в 1808 г. аббатисе из Херфорда, принадлежавшей к дому Бранденбург-Шведт. Эйлер обучал ее в Берлине, а когда двор из-за Семилетней войны вынужден был переехать в Магдебург, Эйлер пытался продолжить обучение с помощью писем». Видимо, это писала владелица книги.

Ниже надпись другой рукой, тоже чернилами и по-немецки: «Маттисон в своих „Воспоминаниях“, т. 3-й, пишет, что княгиня фон Ангальт-Дессау, из королевского прусского дома, у которой поэт с 1795 г. служил чтецом, получила свое первоначальное образование по математическим и физическим наукам у знаменитого Эйлера и что именно ей этот великий человек адресовал „Письма к немецкой принцессе“».

Естественно, мы обратились и к упомянутым в надписи «Воспоминаниям» Фридриха фон Маттисона (1761—1831), известного в свое время поэта, стихи которого переводились на разные языки, в том числе на русский. Его «Элегию на руинах горного замка» перевел на русский язык К. Н. Батюшков (1787—1855) под названием «На развалинах замка в Швеции»;³² о Маттисоне с боль-

³⁰ Wagner B. J. Ein Krankenhaus für arme Kranke: Zur Gründungsgeschichte des Herforder Krankenhauses // Historisches Jahrbuch... S. 101.

³¹ Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie. Leipzig, 1784. Bd. 1, 2. 1 Theil. III Aufl.; 1780. Bd. 3. Надписи на титульном листе имеются также на втором и третьем томах.

³² Батюшков К. Н. На развалинах замка в Швеции // Батюшков К. Н. Полн. собр. соч. М.; Л., 1964. С. 171—174.

шой похвалой отзывался Ф. Шиллер, его «Аделаида» положена на музыку Л. ван Бетховеном.

«Воспоминания» Маттисона³³ состоят большей частью из писем к друзьям и из дневниковых записей. Письма адресованы главным образом Карлу Виктору Бонштеттену (1745—1832), чиновнику в Берне. С ним Маттисон делится своей радостью: его приняла к себе на службу княгиня Ангальт-Дессау в качестве тещи и распорядителя путешествий. Он сообщал, что теперь живет в Вёрлице, загородной резиденции княжеской семьи.³⁴ Вся последующая жизнь Маттисона была тесно связана с жизнью семьи князя и княгини фон Ангальт-Дессау. Он преданно служил княгине, а после ее смерти остался на службе у князя Ангальт-Дессау и скончался в Вёрлице, где и был похоронен.

Леопольд Фридрих Франц фон Ангальт-Дессау (1740—1817) был выдающимся человеком. Он получил блестящее образование, был большим знатоком наук, литературы, искусств, побывал в Англии, Франции, Италии, Голландии, всюду стремясь усовершенствовать свои познания, встречался с художниками, архитекторами, литераторами. После смерти родителей он вступил во владение землей Ангальт-Дессау в 1751 г., но фактически стал правителем земли в 1758 г. Несколько лет он провел за границей — участвовал в Семилетней войне, потом ездил учиться. С ним путешествовал по Европе его друг, архитектор и известный знаток искусств Ф. В. Эрдмансдорф из Дрездена, который стал главным советчиком, архитектором, вдохновителем и исполнителем планов князя Леопольда по строительству прекрасного парка и ряда зданий в Вёрлице. Большое влияние на князя Леопольда оказали книги И. И. Винкельмана,³⁵ в частности «История древнего искусства» (1764), а также «Общественный договор» Ж. Ж. Руссо, поклонником которого князь оставался всю жизнь.

После женитьбы на своей кузине Луизе Генриетте Вильгельмине фон Бранденбург-Шведт князь с женой поселился в Дессау и целиком посвятил себя заботам о нуждах земли Ангальт-Дессау и благоустройству дворца в Дессау, а также замка и парка в Вёрлице. В книге «Художественные сокровища Дессау спасенные Советским Союзом»,³⁶ рассказано, что многие произведения искусства из этой галереи, вывезенные в другие места Германии во время Второй мировой войны и хранившиеся в подвалах и шахтах, были спасены советской армией, возвращены к жизни нашими реставраторами и переданы Германии в 1958 г., заняв, таким образом, свое место в художественной галерее Дессау и в замке Мозикау.

³³ *Matthisson F. von. Erinnerungen. Zürich, 1810—1816. Bd 1—5.*

³⁴ *Ibid. Bd 3 (Januar 1795. Wörlitz). S. 292* — письмо Маттисона к Бонштеттену. Существует отдельная переписка К. В. Бонштеттена с Ф. Маттисоном: *Briefwechsel von C. V. Bonstetten mit F. Matthisson. Zürich, 1827.*

³⁵ И. И. Винкельман (1717—1768) — знаменитый немецкий историк и теоретик античного искусства. В 1805 г. Гёте издал книгу «Винкельман и его век» (*Winckelmann und sein Jahrhundert*), одна из статей там написана Гёте.

³⁶ *Dessauer Künstschatze von der Sowjetunion gerettet. Dessau, 1959.*

В 1769—1773 гг. под руководством и по плану Эрдмансдорфа был построен новый замок в Вёрлице, первая значительная постройка в немецких землях по образцу английских загородных домов. Внизу находились: круглый зал с античными статуями, китайские комнаты, жилые комнаты супругов и парадные помещения. Всюду стояли античные статуи, помещения были отделаны с необычайным вкусом и старанием, для каждого произведения искусства было предусмотрено специальное место. В Вёрлице были собраны картины известных голландских, французских, итальянских художников, окна украшали витражи, изготовленные швейцарскими мастерами. Одной из лучших комнат была библиотека княгини Луизы, вдоль стен которой стояли шкафы с книгами, размещенными тематически, причем над каждым шкафом на стене висели портреты философов, писателей, ученых, чьи книги находились в соответствующем шкафу. Здесь, судя по портретам, были собраны труды античных авторов, Лютера, Кальвина, Эразма Роттердамского, Монтескье, Руссо, Бэкона, Томаса Мора, Ньютона, Лейбница, Х. Вольфа, Сегнера, Эйлера, Линнея, Лафатера, Лессинга, Винкельмана и многих других. Посреди комнаты стоял специально изготовленный письменный стол с висящей над ним лампой. Другая библиотека была расположена в парке, там хранились журналы и описания путешествий.

Идея князя Леопольда и Эрдмансдорфа состояла в том, чтобы парк в Вёрлице (кстати, разбитый на месте прежних болот) выражал единство природы и искусства.³⁷ Для устройства парка приглашались самые искусные мастера паркового дела, садовники, скульпторы, были привезены скульптуры и картины, в их числе скульптуры, найденные при раскопках Геркуланума и Помпеи. В парке были устроены павильоны, гроты, каналы, мостики, установлены камни с различными надписями, построены подземные переходы. Центром парка было прекрасное Вёрлицкое озеро. Посетители выражали свое восхищение этим чудом природы и искусства. Французский поэт Ж. Делиль посвятил ему поэтические строки:

Густыми рощами, обилием воды
Повсюду славятся германские сады...
Гозау и Касселя озера, водопады,
Вёрлиц, исполненный пленительной прохлады —
Достоинны все они восторженных похвал,
Никто до наших дней такого не знал.³⁸

³⁷ О Вёрлицком парке и его достопримечательностях см.: *Rode Au. Beschreibung des fürstlichen Anhalt-Dessauischen Landhauses und Englischen Gartens zu Wörlitz: Neue vollständige Ausgabe.* Dessau, 1814. В наши дни о Вёрлице написана брошюра И. Вючке: *Wütschke J. Wörlitzer Park.* Oranienbaum; Leipzig, 1965. S. 1—32.

³⁸ Делиль Ж. Сады. Л., 1987. С. 20. — В примечании к этим строкам говорится: «Вёрлиц — город в Саксонии, близ Дессау. ...Парк, разбитый по английскому образцу, известен с 1768 г. и считался одним из чудес света» (Там же. С. 217—218). Делиль Жак (Delille Jaques, 1738—1813) — французский поэт-импрессионист, прославился описаниями природы.

Вот что писал о парке и его хозяине Гёте, вспоминая то время, когда учился в Лейпциге:

«Винкельман пользовался всеобщим безусловным уважением (...) Вся периодическая печать согласным хором прославляла его, все просвещенные путешественники возвращались от него, преисполненные восторга и обогащенные знаниями, а все его новые идеи и мысли тотчас же утверждались в науке и жизни.

Подобным уважением к нему проникся и князь Дессауский. Молодой, благородный и благомыслящий, он много путешествовал и везде был желанным гостем. Винкельман был им очарован и не скупился в своих отзывах о нем на самые лестные эпитеты. Разбивка в те времена еще невиданного парка, вкус к зодчеству, который развивал и поддерживал в нас своими творениями фон Эрмандсдорф, — все свидетельствовало в пользу этого владетельного князя, чья деятельность, служа примером другим властителям, сулила золотой век не только его приближенным, но и всем его подданным. И вот до нас, молодых людей, вдруг дошел радостный слух, что Винкельман, возвращаясь из Италии,³⁹ хочет посетить своего высокого друга, а по пути еще заедет к Эзеру,⁴⁰ и, таким образом, попадет в поле нашего зрения. Мы, разумеется, не претендовали на беседу с ним, но надеялись его увидеть, а так как молодежь охотно пользуется любым предложением для увеселительной прогулки, то между нами уже было договорено ехать в Дессау верхами и в экипажах, чтобы там, среди красивой, облагороженной природы, в мудро управляемой и со вкусом украшенной стране, собственными глазами посмотреть на достойных мужей. Эзер сам пребывал в состоянии экзальтации при одной мысли о встрече, как вдруг, точно гром среди ясного неба, поразила нас весть о смерти Винкельмана».⁴¹

Впоследствии Гёте познакомился с князем Ангальт-Дессау и его женой Луизой, часто бывал в Дессау и Вёрлице. Вот что он писал из Вёрлица 14 мая 1778 г. Шарлотте фон Штейн: «Здесь бесконечно прекрасно. Когда же мы вчера вечером пробирались через озера, каналы, рощицы, меня растрогало, как боги позволили князю создать вокруг себя эту мечту. Когда таким образом бродишь по парку, это — как сказка, которую тебе рассказывают, и парк похож на Елисейские поля».⁴² Все в этом разнообразии вытекает одно из дру-

³⁹ И. И. Винкельман с 1754 г. находился в Италии, изучал античное искусство, побывал на раскопках Геркуланума и Помпеи, написал капитальные труды по истории искусства Древней Греции и Рима. По пути в Германию Винкельман встретил преступника, который выдал себя за любителя искусства, а затем с целью грабежа убил Винкельмана (он умер 8 июня 1768 г., поэтому запись Гёте можно отнести к этому времени).

⁴⁰ А. Ф. Эзер — директор Академии рисования в замке Плейсенбург, Гёте учился у него рисованию. Эзер оказал на Гёте большое влияние.

⁴¹ *Götte И. В.* Из моей жизни. Поэзия и правда // Гёте И. В. Собр. соч.: В 10 т. М., 1976. Т. 3. С. 277—278.

⁴² Елисейские поля (или Элизий) — в греческой мифологии обитель блаженных, куда после смерти попадают избранные богов.

гого... Бродишь кругом, не задавая вопросов: куда выходить и куда придешь. Кустарники в самой прекрасной своей поре юности, и все в целом — чистейшая прелесть».⁴³

Деятельность князя Леопольда не ограничивалась строительством зданий и устройством парков. Он был горячим поклонником идей Ж. Ж. Руссо, стремился улучшить положение своих подданных, особое внимание обращал на воспитание детей. Он и княгиня открыли в Дессау в 1774 г. новую школу «Филантропин», руководство которой было поручено известному педагогу и писателю И. Б. Базедову,⁴⁴ последователю и пропагандисту системы воспитания Руссо. Обучение в «Филантропине» велось с помощью игр, наблюдений, путем смены умственного и физического труда, в духе любви и дружбы между людьми. Здесь обучался также единственный сын княжеской четы Фридрих.⁴⁵ По образцу «Филантропина» были открыты и другие подобные школы в Германии. В земле Ангальт-Дессау была учреждена первая в Германии школа для девочек (1786), учительская семинария (1779, позднее — гимназия Фридриха Великого). Князь поощрял развитие ремесел, и для подготовки ремесленников была открыта промышленная школа. Князь и его жена придерживались мнения о равенстве людей разных национальностей, поэтому заботились о школах не только для немцев, но и для евреев. В стране успешно развивалась промышленность и ремонтировались дороги, строились мосты (в том числе через Эльбу), был открыт горный завод. Проявлялась большая забота о сохранении природы, особенно лесов. Была учреждена касса страхования на случай пожара, построен дом для бедняков, основано исправительное заведение для бродяг.

Князь и княгиня любили театр и музыку, благодаря их заботам в Дессау была расширена капелла, построен театр, где ставились оперы Моцарта, играли пьесы Шиллера и Лессинга.

Любимое детище князя Вёрлиц и сейчас сохранил многие черты прежнего облика. До сих пор там есть остров Руссо, след увлечения князя его учением, и стоит камень с надписью, принадлежащей князю: «Памяти Ж. Ж. Руссо, жителя Женевы, который своим красноречием обратил острословие к здравому смыслу, сладострастие к истинному наслаждению, заблуждающееся искусство

⁴³ *Göthe И. В. Письма* // *Göthe И. В. Собр. соч.*: В 13 т. М., 1948. Т. 12. С. 212; *Goethes Briefe an Charlotte von Stein* / Hrsg. von J. Fränkel. Berlin, 1960. Bd 1. S. 108—109.

⁴⁴ Базедов Иоганн Бернгард (1724—1790), «отец Базедов» — известный педагог, автор реформы образования в духе Просвещения. В 1774 г. издал свой основной труд: *Basedow J. B. Elementarwerk für die Jugend und ihre Freunde*. Dessau, 1774 (II. Aufl., 1785). Позднее преподавал в школе для девочек в Магдебурге. Гёте был знаком с ним, посещал «Филантропин».

⁴⁵ Фридрих фон Ангальт-Дессау (1769—1814) — наследный принц, единственный сын князя Франца Леопольда и княгини Луизы. После смерти Леопольда (1817) правителем земли Ангальт-Дессау стал его внук, сын Фридриха, Фридрих Вильгельм (1794—1871), продолживший начинания Леопольда и Луизы. В 1863 г. после кончины бездетного герцога фон Бернбургского он объединил под своей властью всю страну Ангальт.

к простоте природы, скептиков к утешению очевидностью. Он умер 2-го июля 1778 г.». Сохранился лабиринт, символизирующий жизненный путь с его трудностями и заботами, где были таблички с изречениями мудрецов, а в конце пути — долина праведников. Еще стоят многочисленные павильоны, гроты, римский амфитеатр, Пантеон. В парке и вблизи него похоронены некоторые из тех, кто жил и работал в Вёрлице, содействуя его созданию и украшению. Около входа в парк могила Ф. Маттисона.

В парке сохранилось дерево, под которым любил сидеть Маттисон, — «платан Маттисона». В Готическом доме — прекрасная коллекция картин, в том числе картины Кранаха и его школы, витражи на окнах, коллекция оружия швейцарских мастеров.⁴⁶

Князь и княгиня поддерживали знакомство с виднейшими писателями, художниками, мыслителями своего времени. Среди них были И. В. Гёте, И. К. Лафатер,⁴⁷ Ф. Маттисон, И. И. Винкельман, художница Ангелика Кауфман.⁴⁸

В «Воспоминаниях» Маттисона княгиня Луиза Генриетта Вильгельмина — одна из центральных фигур. Маттисон был женат на придворной даме княгини еще до поступления на службу в Вёрлиц. Он восхищался княгиней, был ей предан, писал в ее честь стихи. В стихотворениях Маттисона княгиня Луиза фигурировала под именем Электры, а себя поэт называл Орестом.⁴⁹ Приведем для примера одно из стихотворений Маттисона, посвященных княгине Луизе (в переводе Е. П. Ожиговой):

Ф. Маттисон

ОТШЕЛЬНИК

(Княгине фон Дессау, 1792)

Там, где в море плещет глухо
У покрытых мхом утесов
Бирюзовая волна,

⁴⁶ Wütschke J. Wörlitzer Park. S. 18—19.

⁴⁷ Лафатер Иоганн Каспар (1741—1801) — известный писатель, пастор в Цюрихе. Увлекался физиогномикой, пользовался большой популярностью в Европе. Был дружен с Гёте, с князем Леопольдом, Маттисоном, княгиней Луизой. Изданы его сочинения: *Lavater J. K. Ausgewählte Schriften*: 6 Bd. Zürich, 1841—1842.

⁴⁸ Ангелика Кауфман (1741—1807), точнее, Мария Анна Ангелика — немецкая художница, пользовавшаяся большой известностью в конце XVIII—начале XIX в. Много работала в Англии, потом в Италии. Написала портрет княгини Луизы Ангальт-Дессау (см.: *Самов А. И. Женщины-художницы // Вестн. изящных искусств*. 1883. Т. 1, вып. 3. С. 500—506).

⁴⁹ *Gedichte von F. von Matthiisson / Vollst. Auflage. Tübingen, 1811. Th. 1, 2 # 257-ste Publikation des litterarischen Vereins in Stuttgart. T. 60. Jg. 1911—1912. Bd 1. S. 223, 224, 284 etc.*

В час, когда в лучах заката
Серебристых гор вершины
Словно золото горят,

В шуме волн, в морском дыханье
Твое имя слышит старец,
И тот миг благословляет,

Когда он тебя увидел.
У отшельника седого
Здесь среди безлюдных скал

Ярче пламя разгорелось
Его вечного стремленья
К красоте и доброте.

Вот вершины Альп высоких,
Кровли домиков на склонах
Убаюкал лунный свет,

Пронеслись перед тобою
Освещенные Луною
Сени буковых лесов.

Пусть в саду воздвигнет память
Свой алтарь благочестивый
У калитки луговой,

А над зеркалом потока
Пусть, качаясь, смотрит в волны
Одинокий кипарис.

Будь счастливым, будь счастливым,
Дух высокий, благородный,
В хоре родственных светил,

Странствуй в звездном хороводе,
Воспарив от дол туманных
В мир сияющих вершин.

DER EINSIEDLER⁵⁰

(An die Fürstin von Dessau, 1792)

Wo der See, mit grüner Welle
Dampf der moosbedeckten Zelle
Schroffe Klippenwehr umschäumt,

⁵⁰ *Matthisson F.* Gedichte. Tübingen, 1912. Bd 1. S. 223—224.

Halt dein Nahm, in stiller Feier,
Wenn der Berge Silberschbeier
Sich mit Abendgold besäumt.

Der Gewährung Stunde segnet
Da sein Auge dir begegnet
Hier ein grauer Eremit,

Dessen Brust, im freien Schoosse
Wilder Felsen, für das Grosse,
Schön und Gute reiner glüht.

Wann der Alpen Riesengipfel,
Wann des kleinen Lanhofs Wipfel
Sanft gewiegt im Vollmondsschein

Und das Seewalds Buchenhallen
Deinem Blick vorüberwallen,
Edle, dann gedenk auch sein,

Der Erinnerung soll in Gärtchen,
Vor der Klausen Weidenpförtchen,
Ein Altar sich fromm erhöhen;

Da wird einst am Flutenspiegel
Ueber des entschlafnen Hügel
Einsam die Zipresse wehn.

Selig, selig sey dein Leben,
Selig dein Hinüberschweben
Zu verwandter Geister Chor!

Walle spät, im Sternenkranze,
Honer Geist, von Glanz zu Glänze,
Aus dem Nebeltahl empor.

Во «Всеобщей немецкой биографии» о княгине Луизе говорится следующее: «Затем он (князь Леопольд. — *Авт.*) начал приготовления к свадьбе с принцессой Луизой фон Бранденбург, дамой, отличавшейся как прелестью черт и выражением лица, величественной фигурой, осанкой и достоинством, так и нравственной чистотой, превосходно образованным умом и прекрасным вкусом в искусстве, чем она завоевала высокую благосклонность короля Фридриха II и благодаря чистоте своего сердца и благочестию приобрела любовь князя... В качестве дачной резиденции для себя и своей жены князь избрал Вёрлиц, неприглядное место, окруженное болотами. Он превратил его в цветущий сад, чудо природы и искусства».⁵¹

⁵¹ Allgmaine deutsche Biographie. Bd 40. S. 359.

Позднее княгиня из-за своей болезни — все усиливавшейся глухоты — жила уединенно, с князем Леопольдом личные отношения складывались не особенно удачно, хотя, несмотря на различие характеров супругов, их взаимное уважение сохранилось до последних дней жизни княгини. Почти ежегодно княгиня ездила в южные страны, где лечилась от прогрессирующей глухоты, бывала «на водах» — лечебных купаниях. Она совершенствовала свои познания в искусстве, знакомясь с творениями великих мастеров Возрождения, посещая студии художников, дворцы и музеи. Близ Дессау для нее был построен замок «Луизиум» в Ионице, где она жила в окружении преданных друзей. «Никогда она не была менее одинока, чем в уединении своего похожего на монастырь жилища... Нежная женственность была видна в ее поведении и существе, но твердый мужской ум сказывался в повседневных делах и терпении».⁵²

По словам Маттисона, в лице княгини Луизы можно было заметить фамильные черты прусского королевского рода, а глаза ее напоминали глаза Фридриха II.

Маттисон рисует Луизу женщиной исключительной по образованности, тонкому художественному вкусу, многосторонним литературным интересам. Немногочисленные друзья княгини восхищались ее умом, прекрасной душой, а также умением разнообразить и украшать свою отшельническую жизнь. Маттисон считал ее одной из самых умных и просвещенных представительниц своего пола. В 3-м томе «Воспоминаний» он говорит: «Свое первоначальное образование по математическим и физическим наукам она получила у знаменитого Эйлера, и ей великий человек написал свои известные „Письма к немецкой принцессе“».⁵³

О ее литературных интересах Маттисон сообщает следующее: «В литературе у нее был несомненный и многосторонний вкус. Еще в юности она прочла классиков итальянской, английской, французской литературы на их родных языках».⁵⁴ Ему приходилось читать княгине вслух сочинения древнегреческих и римских авторов в лучших немецких переводах, так как княгиня считала, что «нельзя ехать в Италию, не ознакомившись предварительно с творениями Ливия и Тацита».⁵⁵

Маттисон продолжал: «Очень интересно, в эстетическом и психологическом отношении, перелистать книгу, прочитанную княгиней, потому что она всегда читает с карандашом или пером в руке, и всякое место, которое ее особенно привлекает... тщательно помечает более или менее заметно».⁵⁶

По мнению Маттисона, княгиня отмечала самые прекрасные и остроумные места, особенно в немецких книгах. Имеются ее двойные и тройные подчер-

⁵² *Matthiesson F. Erinnerungen. Bd 3. S. 301.*

⁵³ *Ibid. S. 297.*

⁵⁴ *Ibid. S. 295—296.*

⁵⁵ *Ibid. S. 297.*

⁵⁶ *Ibid.*

кивания. В этих подчеркиваниях виден ее глубокий критический ум. Ей нравились оды Клопштока⁵⁷ и стихи других немецких поэтов. Но особенно много подчеркнутых мест в сочинениях Гёте, которого она предпочитала другим, а из его произведений особенно — «Ифигению в Тавриде» и «Торквато Тассо».⁵⁸ Гёте она многократно перечитывала, и в письмах ее встречались обороты и выражения, оригинальностью и колоритом напоминавшие язык этого поэта.⁵⁹

Мы уже говорили, что Гёте часто бывал в Вёрлице (не менее шести раз),⁶⁰ встречался с князем и княгиней и в других местах. Вот одна из картин вёрлицкой жизни, нарисованная Маттисоном: «Однажды в жаркий день после полудня все собрались на веранде замка. Княгиня вышивала, князь что-то читал, Гёте рисовал, а один из придворных предавался без забот и стеснения соблазну ничегонеделанья. Вдруг мимо пролетел пчелиный рой. Гёте сказал: „По старому народному поверью люди часто и долго будут делать то, чем занимались с любовью в момент полета пчел. Княгиня будет еще много и превосходно вышивать, князь прочитает еще бесчисленное множество интересных сочинений, я буду непременно углубляться в живопись, а Вы, господин камергер, будете лентяйничать до бесконечности“».⁶¹ Заметим, что Вёрлицкий парк послужил образцом для дворцового парка в Веймаре, разбитого по плану Гёте.

Французский язык был княгине ближе немецкого (как и другим лицам при дворе Фридриха II), и по вечерам она любила слушать французские книги, предпочитая путешествия и сочинения по естествознанию.⁶²

Маттисон пишет, что княгиня нередко устраивала чтения драматических произведений Корнеля, Расина, Вольтера в лицах, причем сама декламировала какую-нибудь роль.⁶³ С детства декламация была ее любимым занятием, так же как и короля Фридриха II, при дворе которого она жила. Король любил устраивать выступления детей. Единственным зрителем таких концертов был он сам. И хотя ему было очень трудно угодить, обычно каждое выступление Луизы он встречал горячими аплодисментами.⁶⁴

С большим уважением писал о княгине Луизе и А. фон Гумбольдт.

Из всех этих штрихов складывается образ одной из принцесс, одаренной девушки, которая была по-настоящему любознательной ученицей, вдохновлявшей Эйлера на написание его «Писем».

⁵⁷ Ibid. S. 297—299. — Клопшток Фридрих Готлиб (1724—1803) — знаменитый немецкий поэт. Особенно известен своими одами и «Мессиадой» (1751—1773). Есть и русский перевод «Мессиады» (СПб., 1868).

⁵⁸ *Götte И. В.* Ифигения в Тавриде (1-е нем. изд. 1787); Торквато Тассо. Драма (1-е нем. изд. 1790).

⁵⁹ *Matthisson F.* Erinnerungen. Bd 3. S. 297.

⁶⁰ *Goethe Handbuch.* Stuttgart, 1956. Bd 4. Teilkarte IV.

⁶¹ *Matthisson F.* Erinnerungen. Bd 3. S. 298—299. Перевод Е. П. Ожиговой.

⁶² Ibid. S. 301.

⁶³ Ibid. S. 302—303.

⁶⁴ Ibid. T. 5. S. 239.

Теперь обратимся к обстоятельствам, в силу которых Эйлеру пришлось прибегнуть к заочному обучению и направлять свои письма в Магдебург, город, отстоявший от Берлина на 18 немецких миль, т. е. на 133,5 км.

Письма охватывают 1760—1762 гг. и относятся ко времени Семилетней войны, которую вели, с одной стороны, Пруссия в союзе с Великобританией и частью германских государств, с другой — коалиция Австрии, Франции, России, Швеции и другой части германских государств. Антипрусская коалиция примерно в полтора раза превосходила по численности войск прусскую коалицию. К 1760 г. обе стороны уже одержали немало побед и понесли поражения. Обстановка в Берлине была особенно тревожной. Еще осенью 1758 г. шведы пытались взять Берлин. В июне 1759 г. русские войска под командованием генерала П. С. Салтыкова заняли Франкфурт-на-Одере и угрожали Берлину, а после разгрома прусской армии под Кунерсдорфом 1/12 августа того же года путь на Берлин был открыт и война близка к завершению, которое не состоялось из-за разногласий в антипрусской коалиции. 26 сентября/9 октября 1760 г. Берлин был занят русским корпусом под командованием генерала З. Г. Чернышева. Однако австрийцы не поддержали своих союзников, и русским пришлось вскоре оставить город. Итак, Берлин в эти годы не раз оказывался непосредственно в сфере военных действий и поэтому не мог быть надежным местом для пребывания королевского двора. Фридрих II заблаговременно эвакуировал свою семью в Магдебург, куда переехал также и двор маркграфа Бранденбург-Шведт.

Магдебург, входивший с начала XV в. во владение бранденбургских курфюрстов, стал в XVIII в. одним из наиболее укрепленных городов Пруссии. Его окружало кольцо бастионов, на юге города находился сильно укрепленный форт «Звезда». В городе был размещен значительный гарнизон — в 1757 г. на 24 000 жителей приходилось 5 000 военных.

Эйлер в период Семилетней войны оставался в Берлине. Мы не располагаем данными о том, давал ли он сестрам-принцессам в Берлине систематические уроки, или это были беседы от случая к случаю, когда он приезжал к их отцу. Кроме того, он, видимо, занимался с ними и математикой, о чем, правда, трудно судить по опубликованным «Письмам». Возможно, курс математики был уже изучен ими в Берлине. Во всяком случае, начало первого письма, написанного из Берлина 19 апреля 1760 г., где Эйлер выражает надежду «продолжить свои занятия по математике», свидетельствует о том, что такие занятия в Берлине раньше велись. Очевидно, по просьбе маркграфа Эйлер стал писать своим ученицам письма-беседы, чтобы дать пищу для их духовного развития в годы эвакуации и военных тревог.

Тема Магдебурга пронизывает письма с самого начала. В первом письме, объясняя понятие расстояния, Эйлер приводит в качестве примера расстояние от Берлина до Магдебурга. Во втором письме говорится о времени, которое потребуется гонцу, чтобы доскакать из Берлина до Магдебурга, и времени, за какое звук пушечного выстрела мог бы долететь от Магдебурга до Берлина,

и сопоставляются их скорости. Рассказывая о земной атмосфере в письме 32, Эйлер объясняет, почему горы Гарца, если смотреть на них из Магдебурга, кажутся синими. Говоря о понятии нивелирования (определения высоты различных точек земной поверхности относительно уровня моря), Эйлер в письме 47 сравнивает высоты уровней комнат принцесс в Берлине и Магдебурге.

Начиная с 16 декабря 1760 г. (письмо 85) Эйлер неоднократно обсуждает свою предполагаемую поездку в Магдебург. Напоминая о желании поехать в Магдебург, чтобы «сдержать свое слово», Эйлер затрагивает вопрос о соотношении мотивов поступков и свободы воли, а поездка в Магдебург приводится лишь как иллюстрация этого утверждения.

В одном из писем Эйлер говорит об открытии магдебургского бургомистра и знаменитого физика Отто фон Герике (1602—1686), изобретателя воздушного насоса, который доказал существование давления воздуха знаменитым опытом с «магдебургскими полушариями».

Проследивая содержание писем, можно отметить резкий водораздел между 132 и 133 письмами. Начиная с письма 133 (2 июня 1761 г.) идет почти исключительно физическая тематика, тогда как до этого момента Эйлер часто обсуждал философские вопросы. В литературе отмечалось, что Эйлер сделал это по просьбе маркграфа. Оказывается, именно в это время Эйлер ездил в Магдебург. Даты поездки удалось установить с помощью письма Эйлера конференц-секретарю Петербургской Академии наук Г. Ф. Миллеру от 19/30 мая 1761 г. Эйлер начинает письмо словами: «После моего отсутствия в течение трех недель, которые я провел частью в Галле, частью при дворе в Магдебурге, я получил Ваше письмо...».⁶⁵

Эйлер ездил в Галле, чтобы определить в университет своего младшего сына Карла. Поэтому можно было ожидать некоторых пояснений, касающихся поездки Эйлера, в письмах профессора университета в Галле И. А. Сегнера, известного механика, математика, астронома, врача, химика, которого называют «отцом турбины», поскольку он изобрел и применил на практике реактивное водяное колесо, называемое «сегнеровым колесом».⁶⁶ Эйлер и Сегнер переписывались в течение тридцати лет, с 1741 по 1771 г., а встретились лично лишь однажды — во время поездки Эйлера в Галле в 1761 г.

Действительно, в неопубликованной переписке Эйлера с Сегнером (к сожалению, сохранилась лишь одна сторона этой переписки — письма Сегнера, но по их содержанию часто можно судить и о том, что писал Эйлер), которая издается в Полном собрании сочинений Эйлера (Leonhardi Euleri Opera Omnia. Ser. 4A) Эйлеровской комиссией в Швейцарии, имеются некоторые сведения

⁶⁵ Die Berliner und die Petersburger Akademie der Wissenschaften im Briefwechsel Leonhard Eulers. Berlin, 1959. Bd 1. S. 173—174. Перевод Ю. Х. Копелевич.

⁶⁶ Иоганн Андреас Сегнер (1704—1777), родился в Братиславе, окончил университет в Йене, был профессором в Гёттингене и Галле. Почетный член Петербургской Академии наук (1754), Берлинской Академии наук.

о поездке Эйлера в Галле и Магдебург. О своем намерении поехать в Галле Эйлер сообщил Сегнеру в феврале 1761 г. Судя по протоколу Берлинской Академии наук⁶⁷ Эйлер не присутствовал на заседаниях конференции между 23 апреля и 26 мая 1761 г. Поэтому можно предположить, что поездка заняла три первые недели мая 1761 г. Уже 26 мая Сегнер благодарит Эйлера за честь, оказанную его дому. Очевидно, Эйлер посетил Магдебург на обратном пути из Галле, так как в письме Сегнера от 13 июня 1761 г. сказано: «Я разделяю с Вами удовольствие от Вашего счастливого путешествия, от приятного пребывания в Магдебурге и высоких почестей, которые были Вам там оказаны».⁶⁸ По-видимому, о поездке Эйлера в Магдебург Сегнер узнал из письма Эйлера, написанного им по возвращении в Берлин. Должно быть, в том же письме Эйлер рассказал Сегнеру и о своих письмах-лекциях принцессам, как можно понять из ответа Сегнера: «Я не сейчас, по случаю Ваших письменных лекций, а уже давно начал удивляться тому, как Вы можете справляться с таким количеством важнейших работ».⁶⁹

В другом письме, 5 сентября 1761 г., Сегнер пишет Эйлеру о своем желании, чтобы письма Эйлера были опубликованы в Магдебурге.⁷⁰ Так как до поездки Эйлера в Галле и Магдебург письма к принцессам нигде не упоминались, можно предположить, что идея превратить свои лекции в печатное произведение пришла Эйлеру в голову именно после этой поездки.

⁶⁷ Die Registres der Berliner Akademie der Wissenschaften, 1746—1766. Berlin, 1957.

⁶⁸ ПФА РАН, ф. 136, оп. 2, № 3, л. 204.

⁶⁹ Там же, л. 205.

⁷⁰ Там же, № 4, л. 217.

ПЕТЕРБУРГСКИЕ ИСТОЧНИКИ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЛОСОФСКИХ ВОЗЗРЕНИЙ ЭЙЛЕРА

Хотя «Письма» Л. Эйлера были адресованы *немецкой* принцессе, опубликовал он их, как отмечалось выше, в России, вскоре после своего возвращения в 1766 г. в Петербургскую Академию наук. Вероятно, именно это обстоятельство побудило многих исследователей считать «Письма» всего лишь модной в то время эпистолярной формой, в которую ученый пожелал облечь свое произведение. Вот почему так редко обсуждался вопрос об адресате этих «Писем», а сами они ранее никогда не рассматривались как исторический документ. Многократно издававшиеся тексты «Писем» долгое время не привлекали внимания исследователей корреспонденции великого ученого.¹ Попытки найти оригиналы этих писем до недавнего времени также не предпринимались.

Решение Эйлера опубликовать свои «Письма» в России, по-видимому, нельзя считать простой случайностью. Помимо других причин, о которых будет сказано дальше, можно полагать, что ему приятно было напечатать свое сочинение именно в Петербурге, городе своей юности, где в 1727 г. началась его славная научная карьера.

Создание Петербургской Академии наук в России первой четверти XVIII в. стало первой в отечественной истории попыткой поставить науку на службу государству. Опираясь на передовую науку своего времени, Петр I стремился ускорить осуществление намеченных им реформ.

Прежде всего была создана солидная материальная база для будущей Академии. В ее распоряжение передавалось здание Кунсткамеры, строительство которого началось еще при жизни Петра I, а завершилось после его смерти. Кунсткамера специально строилась для размещения богатейшего книжного собрания по всем отраслям знаний, разнообразных коллекций научных приборов и инструментов, всевозможных «натуралий» (их украшением была зна-

¹ Как уже указывалось, письма Л. Эйлера к немецкой принцессе не были включены ни в одно издание переписки ученого, вышедшее в СССР, Германии или Швейцарии. См.: Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель / Сост. Т. Н. Кладо, Ю. Х. Копелевич, Т. А. Лукина, И. Г. Мельников, В. И. Смирнов, А. П. Юшкевич при участии К. Р. Бирмана и Ф. Г. Ланге; под ред. В. И. Смирнова и А. П. Юшкевича. Л., 1967; Die Berliner und die Petersburger Akademie der Wissenschaften in Briefwechsel Leonhard Eulers / Hrsg. von A. P. Juškevič, E. Winter. Berlin, 1959—1976. Bd 1—3; Leonhardi Euleri Opera Omnia. Ser. 4A (Commercium Epistolicum). Basel, 1975. V. 1.

менная коллекция анатомических препаратов голландского ученого Ф. Рюйша) и великолепно оборудованной астрономической обсерватории. Все эти книги, инструменты и редкости Петр I собирал всю жизнь, не жалея никаких затрат. Позднее Академия получила ботанический сад, типографию и инструментальные мастерские. Державный основатель Академии позаботился также о выделении щедрых денежных средств на ежегодное содержание ее (24 912 рублей). Даже бытовые нужды первых петербургских академиков по желанию Петра поначалу обеспечивались за счет государства, чтобы ученые не отвлекались от научных занятий и «времени не теряли бездельно».² Итак, в Петербурге были созданы все необходимые материальные условия как для проведения научных исследований в любой отрасли естествознания, так и для их публикации.

Однако Россия не имела тогда своих ученых. Вот почему было решено пригласить из разных стран Европы тщательно подобранную научную молодежь, согласившуюся приехать в Петербург, чтобы «заложить там основы наук» и подготовить русские научные кадры. С этой целью при Академии были основаны гимназия и университет, куда принимали способную молодежь из разных слоев общества. Петербургские ученые первого призыва должны были не только сами заниматься научными исследованиями, но и готовить местные научные кадры. Кроме того, ученым вменялась в обязанность популяризация в стране научных знаний, чтобы, как говорилось в петровском проекте устава Академии, «чрез... разположение оных польза в народе впредь была».³

Петр I с такой страстью стремился воплотить в жизнь свой замысел относительно Академии, что даже после его смерти правители России никогда не нарушали воли основателя Академии, вскоре убедившись в полезности этого учреждения. В такой исключительно благоприятной обстановке петербургские ученые в отличие от своих зарубежных коллег могли целиком отдаться науке, удачно сочетая ее с подготовкой научных кадров и популяризацией научных знаний. Им не надо было тратить силы и время на добывание средств к жизни.

Ничего подобного не было тогда в других странах Европы. Так, Лондонское королевское общество вообще не получало государственных субсидий, и его члены, внося членские взносы, сами платили за право заниматься наукой. В мелких княжествах раздробленной Германии и других небольших государствах Европы средств на развитие науки было еще меньше. Лишь Парижская Академия наук получала финансовую поддержку государства, правда, недостаточную для того, чтобы платить всем своим членам. Члены всех европейских

² Копелевич Ю. Х. Основание Петербургской Академии наук / Ред. А. П. Юшкевич. Л., 1977. С. 82.

³ См.: История Академии наук СССР / Под ред. К. В. Островитянова. М.; Л., 1958. Т. 1, ч. 1. С. 429.

академий были вынуждены добывать средства к жизни преподаванием, медицинской практикой или военной службой.⁴ В Петербургской Академии наука впервые в Европе стала профессиональным занятием, что с благодарностью отмечали и все работавшие в Петербурге ученые-иностранцы. Так, 2 марта 1728 г., выступая на публичном собрании Петербургской Академии наук в защиту учения Н. Коперника, Ж. Н. Делиль от имени своих коллег, приехавших в Россию из разных стран Европы, с глубокой благодарностью отметил, что занятия науками «Академия сделала профессией».⁵

Итак, высокооплачиваемые сотрудники Петербургской Академии могли целиком посвятить себя науке, что значительно интенсифицировало их деятельность и вскоре принесло обильные плоды. Петербург оказался настоящим «раем для ученых»⁶ еще и потому, что, обеспечив их всем необходимым для научных исследований, им предоставили и полную свободу творчества, не навязывая никаких готовых стереотипов. Это было весьма существенно, так как вплоть до второй половины XVIII в. на континенте Европы еще господствовало картезианство. Его оплотом была Парижская Академия наук, отказывавшаяся субсидировать и печатать ньютоновские работы. На Британских островах, напротив, общепринятым считалось учение Ньютона, а малейшее несогласие с ним сразу вызывало резкое раздражение. Лишь в России можно было тогда спокойно изучать труды Ньютона и в то же время вносить в них необходимые поправки.

Вот почему случилось так, что в Петербургскую Академию наук согласились приехать главным образом ученые-ньютоновцы из стран континентальной Европы (такие как Ж. Н. Делиль, Я. Герман и Д. Бернулли) и научная молодежь, еще не сформировавшая своих взглядов (в их числе были Л. Эйлер, Г. В. Крафт, Ф. Х. Майер, Г. Ф. Миллер и др.). Правда, приехал в Петербург и один картезианец — любимый ученик Х. Вольфа Г. Б. Бильфингер, но в 1730 г. он уже покинул Россию, не оставив заметного следа в русской науке.

Астрономия занимала особое место в планах Петра I. Вместе с географией и навигацией она была включена в составленный им в 1724 г. проект будущей Академии. Создавая морской флот в стране, ранее его не имевшей, Петр I хотел оснастить его лучшими навигационными приборами и инструментами, мореходными таблицами и дать флоту великолепно обученных штурманов и геодезистов. Они должны были усовершенствоваться под руководством акаде-

⁴ Речь Ж. Н. Делиля в публичном собрании Академии наук 2 марта 1728 г. // Источники по истории астрономии России XVIII в. СПб., 2000.

Делиль Жозеф Николя (Delisle Joseph Nicolas, 1688—1768) — французский астроном, географ, физик, востоковед, историк науки. По личному приглашению Петра Великого работал в Петербургской Академии наук в 1726—1747 гг. Основал Астрономическую обсерваторию и Географический департамент. Создал петербургскую и парижскую астрономические школы XVIII в.

⁵ Discours lû dans l'Assemblée publique de l'Académie Impériale des sciences le 2 mars 1728 par M. De L'Isle. Avec la Réponse de Mr Bernoulli. SPb., 1728. P. 17.

⁶ Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель. С. 7, № 466.

мических астрономов и составить с их помощью точные сухопутные и морские карты, а также нанести на них богатые природные ресурсы обширной и мало изученной тогда России.

Залогом успеха, по замыслу Петра I, должна была стать прекрасно налаженная работа астрономической обсерватории. Создание обсерватории и основание петербургской астрономической школы Петр I поручил известному французскому астроному, географу и историку науки Ж. Н. Делилю, с которым царь познакомился летом 1717 г. в Париже. С радостью приняв столь лестное предложение, Делиль детально разработал программу научных исследований в России и добился ее одобрения Петром I. В эту программу входили разнообразные исследования по астрономии, астрономической оптике и приборостроению, геодезии и истории науки, а также работы, заложившие основы ряда новых тогда отраслей науки, таких как небесная механика и астрофизика. Петербургская астрономическая школа XVIII в. стала первой научной школой России.⁷ Активное участие в ее создании принимали все петербургские ученые.

Приехав в Петербург из Базеля в 1727 г., двадцатилетний Эйлер с жадностью углубился в изучение самых разных областей науки, для чего здесь, как отмечалось выше, были все условия. Петербургские ученые, по возрасту лишь немногим старше его, так же как и он, горели жаждой знаний. С энтузиазмом молодости они знакомили друг друга с тем, чем занимались сами, и в свою очередь активно участвовали в исследованиях своих коллег и друзей. Коллективное проведение различных работ и совместная подготовка изданий, освещающих деятельность Петербургской Академии наук, получили широкое распространение в первые годы ее существования. Эйлер прошел здесь хорошую школу, сформировавшую его мировоззрение и во многом определившую направление его дальнейших исследований.⁸

Большое значение Петербургской Академии наук в формировании его как ученого Эйлер признавал и сам. Так, 7 (18) ноября 1749 г. он писал И. Д. Шумахеру: «...я и все остальные, кто имел счастье провести некоторое время в русской императорской Академии, должны быть благодарны благоприятным обстоятельствам, в которых мы там находились... что касается меня, то за неимением такой прекрасной возможности я был бы вынужден взяться главным образом за другие исследования, в которых я, по всей вероятности, должен был бы стать всего лишь кропателем. Когда недавно его королевское вели-

⁷ Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. / Ред. К. Ф. Огородников. Л., 1984.

⁸ Подробнее см.: *Nevskaya N. I. Euler als Astronom // Leonhard Euler. 1707—1783: Beiträge zu Leben und Werk, Gedenkband des Kantons Basel-Stadt*. Basel, 1983. S. 363—371; *Невская Н. И.* 1) «Примечания на „Ведомости“» как научный журнал // Наука и культура России XVIII в. Л., 1984. С. 5—37; 2) Новые данные о становлении Л. Эйлера как астронома и историка науки // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. М., 1988. С. 259—276; *Копелевич Ю. Х.* Забытые страницы «Примечаний на „Ведомости“» // Наука и культура России XVIII в. С. 38—51.

чество (Фридрих II. — Н. Н.) спросил меня также, где я изучил то, что знаю, то я, согласно истине, ответил, что я за все должен благодарить свое пребывание в Петербургской Академии».⁹

Петербургский период 1727—1741 гг. наложил яркий и своеобразный отпечаток на многие произведения великого ученого, в том числе и на его «Письма к немецкой принцессе». Почти в каждом письме звучат «петербургские мотивы», для понимания которых необходимо хотя бы кратко познакомиться с тем, чем Эйлер занимался в эти годы, над чем усиленно размышлял впоследствии, в том числе и в «Письмах». Начал он работу в качестве адъюнкта физиологии, помогая своему земляку и другу Д. Бернулли в проведении экспериментов над оптическим нервом. Эти исследования, тесно связанные с изучением механизма зрения, входили в разработанную Ж. Н. Делилем программу. Они должны были помочь усовершенствовать оптику телескопов и микроскопов, чем занимались тогда петербургские астрономы. В образцово налаженных работах Петербургской обсерватории принимали участие и специалисты по всем другим наукам, представленным в Академии.

Основателем и первым директором обсерватории, по проекту которого она и строилась, был Ж. Н. Делиль. Он пользовался уже широким признанием в научном мире. Член крупнейших академий того времени, он и по возрасту оказался старшим (не считая вскоре уехавшего из России Я. Германа). Делиль был вдвое старше Эйлера. Энциклопедически образованный, талантливый экспериментатор, теоретик и наблюдатель, он обладал и незаурядными педагогическими способностями, позволившими ему привлечь к работам обсерватории почти всю академическую молодежь. Это значительно расширило возможности обсерватории, получившей множество добровольных сотрудников, для которых работа в обсерватории стала хорошей школой, весьма пригодившейся им впоследствии.¹⁰

Обсерватория размещалась в трех этажах башни над зданием Кунсткамеры, куда Академия наук переехала в сентябре 1726 г. С 9 сентября того же года на еще недостроенной обсерватории начались регулярные наблюдения. С февраля 1727 г. к ним подключился и Л. Эйлер. Он участвовал во всех наблюдениях, первоначально — пассивно, т. е. присутствовал, а с 1731 г. начал самостоятельные наблюдения полуденных высот Солнца. На основании этих наблюдений определялись широты и выверялся ход часов.

Двери обсерватории всегда были широко открыты для всех желающих. Однако наибольшее внимание сотрудников и гостей привлекала камера-обскура — небольшая затемненная комната, оборудованная на третьем этаже башни. Там под руководством Делиля и по разработанной им методике проводились весьма эффектные и красочные эксперименты. Через крохотное от-

⁹ Die Berliner und die Petersburger Akademie der Wissenschaften in Briefwechsel Leonhard Eulers. Bd 2. S. 182. Перевод Н. И. Невской.

¹⁰ Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в.

верстие, или щель, в камеру-обскуру пропускался луч света Солнца, который при этом разлагался на составные цвета из-за дифракции. Полученная таким образом дифракционная картина отбрасывалась на белый экран, где рассматривалась с помощью лупы или микроскопа и измерялась с помощью микрометра. Вставляя во входное отверстие камеры-обскуры лупу или объектив телескопа, Делиль добился большой четкости изображения. Ему удалось измерить на экране положение шести полос дифракционного спектра, качественно оценить их цвет и интенсивность.¹¹

В камере-обскуре Петербургской обсерватории были изучены все свойства дифракции света, а также доказана тождественность дифракционного спектра с призматическим, который получался при прохождении света через призму. Следует напомнить, что дифракция света — явление сложное, полная теория которого не разработана и сегодня. Эксперименты по дифракции весьма тонки и требуют большого искусства. Именно этим и можно объяснить тот факт, что, хотя дифракция света была открыта в 1663 г., удачно повторить эксперименты Ф. М. Гримальди удалось лишь в 1672—1675 гг. Р. Гуку и И. Ньютону. В XVIII в. эти эксперименты повторялись редко. Однако Делиль умело воспроизводил их и решил использовать для изучения эффектов дифракции и рефракции света в атмосферах планет и других небесных тел.

Эти работы, начатые им в Париже, успешно продолжались в Петербурге. Участвовавшие в экспериментах ученые в совершенстве освоили тонкую методику, а Ф. Х. Майер и Г. В. Крафт даже стали профессиональными физиками. Эйлер также проводил в камере-обскуре различные эксперименты, которые затем продолжал и в Берлине. И в «Письмах к немецкой принцессе» он часто обращался к камере-обскуре и всевозможным исследованиям, которые в ней можно провести. Природа света и цветов живо волновала всех петербургских ученых, в том числе и Л. Эйлера. Он неоднократно возвращался к этим вопросам. Много места уделено им в «Письмах». Однако экспериментов по дифракции света и сущности самого этого свойства света Эйлер в «Письмах» не затрагивал, ведь теория столь сложного явления осталась ему неизвестной! Что же он мог объяснить своим ученицам?!

То обстоятельство, что ни Л. Эйлер, ни М. В. Ломоносов, ни другие петербургские ученые, кроме Ж. Н. Делиля, работа которого была забыта,¹² не опубликовали ничего о дифракции света, привело в дальнейшем многих исследователей к ошибочному заключению о том, что петербургские ученые XVIII в., так же как и их зарубежные коллеги, не занимались экспериментами

¹¹ Подробнее об этом см.: *Невская Н. И.* Дифракция света в работах астрофизиков XVIII в. // Историко-астрономические исследования. М., 1977. Вып. 13. С. 339—376.

¹² *De L'Isle J. N.* Expériences sur la lumière et couleurs // *Mémoires pour servir à l'histoire et au progrès de l'Astronomie, de la Géographie et de la Physique...* SPb., 1738. P. 205—266. См. рус. перевод: Источники по истории астрономии России XVIII в. / Сост. и пер. Н. И. Невской. СПб., 2000.

по дифракции.¹³ Однако именно эти эксперименты, такие красочные и запоминающиеся, наложили совершенно особый отпечаток на работы всех петербургских ученых.

Как известно, еще в XVII в. сложились две гипотезы о физической природе света — волновая и корпускулярная. Сторонники первой опирались на аналогию между светом и расходящимися по воде волнами, возникающими при падении в воду камня. Огибая препятствия, т. е. дифрагируя, свет наглядно проявлял свои волновые свойства, тогда как при отражении и преломлении он вел себя как частица — корпускула. Подавляющее большинство ученых XVIII в., редко воспроизводивших эксперименты по дифракции света, отдавали предпочтение корпускулярной гипотезе. Ее предпочитал и Ньютон, хотя в своей «Оптике»,¹⁴ пользовавшейся в XVIII в. огромной популярностью, он описал опыты по дифракции, а к книге приложил список нерешенных вопросов. На равных там обсуждались волновая и корпускулярная гипотезы.

Петербургские ученые, уделявшие много внимания экспериментам по дифракции света, не могли отрешиться от уверенности в его волновой природе. Для проверки они обратились, как предлагалось в 27—31-м «Вопросах» Ньютона, к изучению аналогии между светом и звуком. С этой целью изучалось распространение света от вспышки молнии и звука грома, а в июле 1727 г. удалось организовать и опытные стрельбы. Ствол пушки был установлен вертикально вверх, производился выстрел, после которого изучалась скорость распространения в воздухе звука выстрела и света вспышки, которые видоизменялись в зависимости от величины заряда.

В опытных стрельбах участвовала большая группа петербургских ученых (в их числе были Л. Эйлер и Д. Бернулли), посвятивших анализу стрельб целый ряд работ.¹⁵ В результате всех этих исследований был сделан вывод о полной аналогии между светом и звуком. После этого петербургские ученые свято уверовали в такую аналогию и вплоть до конца столетия никто здесь на нее не покушался. Убежденность в правильности аналогии между звуком и светом

¹³ Вавилов С. И. Физическая оптика Леонарда Эйлера // Леонард Эйлер. 1707—1782: Сб. статей и материалов к 150-летию со дня смерти. М.; Л., 1935. С. 35. — Аналогичные высказывания В. Фредерикса см.: Гюйгенс Х. Трактат о свете / Пер. Н. Фредерикса, под ред. и с примеч. В. Фредерикса. М.; Л., 1935. С. 166; Подобные оценки можно встретить и в кн.: Шрёдингер Э. Новые пути в физике. М., 1971. С. 25 и др.

¹⁴ Ньютон И. Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света / Пер. С. И. Вавилова. 2-е изд., просмотренное Г. С. Ландсбергом. М., 1954 (далее — Ньютон И. Оптика).

¹⁵ Эйлер Л. Размышления по поводу недавно предпринятых опытов стрельбы из орудий // Исследования по баллистике. М., 1961. С. 497—504. — Остальные исследования Эйлера и его коллег были опубликованы на латыни во втором томе петербургских «Комментариев»: Euler L. Tentamen explicationis phaenomenorum aëris // Commentarii Academiae sci. Imp. Petropolitanae. Petropoli, 1729. Т. 2. Р. 347—368; Bernoulli D. Dissertatio de actione fluidorum in corpora solida et motu solidorum in fluidis // Ibid. Р. 304—342, и др.

и представлении о свете как о волновом явлении отныне стала характерной чертой всех петербургских ученых. Даже те из них, кто впоследствии уехал из Петербурга, не могли отказаться от этого убеждения. Оно помогало им разрабатывать теории, порой весьма изящные, объяснявшие с единой точки зрения, казалось бы, разные явления.

Именно такими теориями полны и настоящие «Письма» Эйлера, которые с гордостью их излагал. Это и его теория света, представляющая свет как продольные колебания эфира (письма 3—21, 133—135), это и теория, объясняющая возникновение цветов в зависимости от различного числа колебаний эфира (письма 28—31, 133—135), это и теория видимости несамосветящихся тел, частицы поверхности которых под действием света приходят в возбуждение, начинают колебаться и становятся видимыми (письма 22—27, 135—136). Сюда же следует отнести и предложенную Эйлером теорию электрических, вернее, электростатических явлений с помощью представлений об изменении упругости эфира, в результате чего в нем возникают сгущения или разрежения (письма 138—155). Точно так же Эйлер объяснял и тяготение, которому посвятил письма 45—68.

Касаясь природы тяготения, ученый писал: «Английские философы утверждают, что существенное свойство всех тел — притягиваться друг к другу — это как бы естественная склонность, которую все тела испытывают друг к другу и в силу которой тела стараются сблизиться, как если бы они были наделены неким чувством или желанием. Другие философы рассматривают это мнение как абсурдное и противоречащее принципам рациональной философии. Не отрицают факта, они даже соглашаются с тем, что в мире действительно существуют силы, которые толкают тела друг к другу; но они утверждают, что эти силы действуют вне этих тел и находятся в эфире, или той тонкой материи, которая окружает все тела...».¹⁶

Понятие эфира как среды, в которой движутся все тела, играло центральную роль в объяснении Эйлером целого ряда явлений природы с единых позиций. Это понятие ученый ввел в 1729 г. в упоминавшейся выше статье «Попытка объяснения воздушных явлений...»¹⁷ и в дальнейшем широко использовал. С первых лет своего пребывания в Петербурге Эйлер размышлял над этими проблемами, особенно много он занимался ими с 30-х гг. XVIII в., начав работу над своей знаменитой «Механикой».¹⁸ Не случайно, что именно ему было доверено выразить мнение Петербургской Академии наук на ее публичном собрании 2 февраля 1732 г., посвященном монадам.¹⁹ В 1737—1739 гг. Эйлер

¹⁶ Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... SPb., 1768. Т. 1. Lettre 68. P. 264 (далее письма цит. по этому изданию). Перевод Н. И. Невской.

¹⁷ Euler L. Tentamen explicationis phaenomenorum aeris...

¹⁸ Euler L. Mechanica sive motus scientia... In 2 t. Petropoli, 1736.

¹⁹ Рукописные материалы Л. Эйлера в Архиве Академии наук СССР. М.; Л., 1962. Т. 1. С. 92.

написал несколько работ по теории теплоты,²⁰ в 1739—1747 гг. — несколько вариантов объяснения различных оптических явлений.²¹

Блестящее применение всех этих идей (в том числе тяготения и светового давления) к объяснению различных явлений природы Л. Эйлер продемонстрировал в своей статье «Физическое рассуждение о причине хвоста комет и северного сияния, а также зодиакального света». Оригинал был написан в 1746 г. и опубликован во французском переводе в 1748 г. в Берлине.²² Как известно, петербургские ученые, хотя и были ньютонианцами, не разделяли ньютоновского мнения о том, что тяготение — это свойство тел, и пытались объяснить его по-своему. Один из вариантов такого объяснения предложен в настоящих «Письмах». Ярким примером дискуссий, проходивших в Петербурге на эту и другие подобные темы, может служить неотправленное письмо М. В. Ломоносова к Л. Эйлеру от 16 (27) февраля 1748 г.²³ Следует отметить, что упомянутая выше статья Эйлера, опубликованная в 1748 г. в Берлине, базировалась на петербургских наблюдениях и материалах, частично напечатанных в журнале «Примечания на „Ведомости“» за 1733—1742 гг.²⁴

В том же году в Париже вышла «Диссертация о магните» Л. Эйлера, премированная Парижской Академией.²⁵ В ней предлагалась новая теория магнетизма. И наконец, в 1755 г. Петербургская Академия премировала сочинение И. А. Эйлера «Исследование о физической природе электричества».²⁶ В нем излагались идеи Л. Эйлера, который считал для себя неудобным открыто участвовать в конкурсе.²⁷ Важным этапом подготовки Л. Эйлера к «Письмам», по признанию Д. Шпайзера,²⁸ стала работа ученого «Руководство по физике, в котором устанавливаются основы для объяснения всех происходящих в природе явлений и изменений»,²⁹ написанная Эйлером в 1755—1760 гг. и не публиковавшаяся при его жизни. Все эти идеи и материалы нашли отражение в «Письмах».

Использование Эйлером для объяснения различных физических явлений понятия эфира как тончайшей и очень упругой среды, заполняющей все ми-

²⁰ Там же. С. 100.

²¹ Там же. С. 93—94.

²² Там же. С. 102; *Recherches physiques sur la cause de la queue des comètes... / Mémoires de l'Académie roy. sci. et belles-lettres*. Berlin, 1748. V. 2. P. 117—140.

²³ *Ломоносов М. В.* Полн. собр. соч.: В 10 т. М.; Л., 1967. Т. 1. С. 436—438.

²⁴ *Невская Н. И.* Новые данные о становлении Л. Эйлера как астронома и историка науки. С. 268.

²⁵ *Euler L.* Dissertatio de magnete // *Pièces remp. prix Académie roy. sci.* 1743 et 1746. Paris, 1748. P. 1—47.

²⁶ Рукописные материалы Л. Эйлера в Архиве Академии наук СССР. С. 385.

²⁷ *Jaquel R.* Leonhard Euler, son fils Johann Albrecht et leur amis Jean III Bernoulli jusqu'en 1766 // *Leonhard Euler. 1707—1783*. P. 438.

²⁸ *Speiser D.* Eulers Schriften zur Elektrizität und Magnetismus // *Leonhard Euler. 1707—1783*. S. 226.

²⁹ Рукописные материалы Л. Эйлера в Архиве Академии наук СССР. С. 90—93.

ровое пространство, дало повод некоторым авторам счесть его картезианцем, а предложенные ученым объяснения — типично картезианскими.³⁰ Однако такое сходство Эйлера с Декартом — чисто внешнее. К тому же следует напомнить, что и сам И. Ньютон еще не отказался полностью от эфира и обращался к нему в затруднительных случаях. Так, например, с помощью гипотезы эфира он пытался объяснить перенос тепла в камере, лишенной воздуха, затухание движения маятника в вакууме, передачу раздражений от органов чувств в мозг, а также различные свойства света. Все это Ньютон включил в «Вопросы», приложенные к его «Оптике».³¹

В понятие эфира Л. Эйлер и И. Ньютон вкладывали иное содержание, чем Р. Декарт, да и использовали эфир не так, как Декарт. Детальное исследование убедительно показало всю необоснованность причисления Эйлера к картезианцам.³² Выяснилось, что «эфир Эйлера имел мало общего с картезианским эфиром, более того, он был во многом идентичен эфиру Ньютона и введен для объяснения тех же самых затруднений, с которыми сталкивался и Ньютон».³³ Так, например, у Декарта эфир был основой космологии, так как эфирные «вихри» обеспечивали движение по орбитам всех небесных тел. Ньютон нанес сокрушительный удар подобным представлениям, показав в «Математических началах натуральной философии», что небесные тела, увлекаемые декартовскими вихрями, не могут описывать замкнутые траектории.³⁴ Неудивительно, что ни Ньютон, ни петербургские ученые (включая и Л. Эйлера) никоим образом не принимали декартовские вихри и категорически отвергали их роль в движении небесных тел. На сходство с Ньютоном в трактовке движения небесных тел сквозь эфир указывал и Я. Г. Дорфман.³⁵

Ньютон и Эйлер допускали существование абсолютного времени и пространства, заполненного эфиром, который им понадобился для того, чтобы изгнать из физики «скрытые качества». Одним из таких качеств им представлялось и тяготение, понимаемое как врожденное свойство тел, мгновенно распространяющееся на далекие расстояния. Хотя Ньютон и предложил подобную трактовку тяготения в своих «Началах», это объяснение его самого не устра-

³⁰ Минченко Л. С. Физика Эйлера // Тр. Ин-та истории естествозн. и техн. АН СССР. 1957. Т. 19. С. 221—270.

³¹ Ньютон И. Оптика. С. 264—268.

³² Григорьян А. Т., Кирсанов В. С. «Письма к немецкой принцессе» и физика Леонарда Эйлера // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука: Сб. статей / Под ред. Н. Н. Боголюбова, Г. К. Михайлова, А. П. Юшкевича. М., 1988. С. 294—303.

³³ Там же. С. 295.

³⁴ Ньютон И. Математические начала натуральной философии / Пер. с лат. и коммент. А. Н. Крылова; ред. и предисл. Л. С. Полаха. М., 1989. Кн. II, отдел IV, теорема XII, с. 370 и теорема XIII, с. 375—376.

³⁵ Дорфман Я. Г. Физические воззрения Леонарда Эйлера // Леонард Эйлер: Сб. статей в честь 250-летия со дня рождения / Под ред. М. А. Лаврентьева, А. П. Юшкевича, А. Т. Григорьяна. М., 1958. С. 383.

ивало, как видно из «Вопросов» в его «Оптике». Все петербургские ученые (включая Эйлера и М. В. Ломоносова) категорически отвергали дальное действие тяготения и отказывались считать его свойством тел. Они воспользовались гипотезой эфира как среды, заполняющей все мировое пространство, чтобы наделить его свойством тяготения.

Точка зрения Эйлера и его петербургских коллег в объяснении всех электромагнитных явлений (таких как свет, электричество, магнетизм и др.) получила наиболее полное развитие в 1873 г. в электродинамике Дж. К. Максвелла (1831—1879).³⁶ Введенное Эйлером в теорию движения комет световое давление на твердые тела³⁷ экспериментально было открыто русским физиком П. Н. Лебедевым в 1900 г., а в 1910 г. — и на газы.³⁸ И наконец, изучение свойств эфира на протяжении XIX—начала XX в. привело А. Эйнштейна к заключению об отсутствии эфира и, следовательно, об отсутствии абсолютного пространства и времени. Эфир заменили всевозможные поля — от электромагнитного (1905)³⁹ до поля тяготения (1915).⁴⁰ В общей теории относительности Эйнштейна тяготение трактовалось уже как свойство самого пространства, а не заполнявшего его эфира. Таким образом, идеи Л. Эйлера и его петербургских коллег о физической природе света и других электромагнитных явлений и тяготения оказались переходными от физики Ньютона и Максвелла к физике Эйнштейна.

В письме 19 Эйлер впервые объяснил понятие эфира, а в письме 68 проанализировал дискуссию своих современников о физической природе тяготения. Он отметил существование двух точек зрения, из которых одна рассматривала тяготение как врожденное свойство материи, а другая — как результат воздействия на тело внешних сил, обусловленных эфиром. Эйлер решительно выступил в защиту второго мнения. Он писал: «Последнее мнение больше нравится тем, кто любит ясные принципы в философии, потому что они не понимают, как два удаленных одно от другого тела могли бы воздействовать друг на друга, если бы между ними ничего не было».⁴¹ Эти слова почти дословно совпадают со знаменитым местом из письма И. Ньютона к Р. Бентли, где говорится о невозможности представить себе действие на расстоянии через пустоту.⁴²

³⁶ Максвелл Дж. К. Трактат по электричеству и магнетизму // Максвелл Дж. К. Избр. соч. по теории электромагнитного поля. М., 1952.

³⁷ Лебедев П. Н. Об отталкивающей силе лучеиспускающих тел // Лебедев П. Н. Избр. соч. М.; Л., 1949.

³⁸ Лебедев П. Н. Сила давления света на газ // Там же.

³⁹ Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Эйнштейн А. Собр. науч. тр.: В 4 т. / Под ред. И. Е. Тамма, Я. А. Смородинского, Б. Г. Кузнецова. М., 1965. Т. 1. С. 7—35.

⁴⁰ Эйнштейн А. К общей теории относительности: К общей теории относительности (Дополнение) // Там же. С. 425—438.

⁴¹ Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... Т. 1. Lettre 68. P. 264. Перевод Н. И. Невской.

⁴² Four letters from Sir Isaak Newton to Dr. Bentley. London, 1756. P. 25.

Сходство позиций Ньютона и Эйлера будет еще более ясным, если обратиться к свойствам материи. Р. Декарт отождествлял материю с протяженностью, тогда как Эйлер вслед за Ньютоном главным свойством тел считал их непроницаемость. Анализируя в письме 69 мнение Декарта, Эйлер указал на его «геометризм» и отметил, что «легко обнаруживается всеобщее свойство, присущее всякой материи, а следовательно, и всякому телу. Это — *непроницаемость*, т. е. невозможность того, чтобы сквозь одно тело проходили другие тела, или же невозможность того, чтобы два тела одновременно занимали одно и то же место».⁴³ Говоря о непроницаемости тел, Эйлер не забыл отметить, что «пустота исключается из класса тел, ибо, хотя она и имеет протяженность, ей недостает непроницаемости...».⁴⁴

Вторым важным свойством тел Эйлер вслед за Декартом и Ньютоном считал инерцию. Понятие о ней он дал в письме 74, определив инерцию как «свойство, основанное на природе тел, согласно которой они стремятся сохранять неизменным свое состояние, будь то состояние покоя или движения. Это свойство, которым наделены все тела и которое существенно для них, называется *инерцией*, и оно столь же необходимо присуще всем телам, как протяженность, и непроницаемость...».⁴⁵ В том же письме 74 Эйлер разъяснил равносильность состояния покоя или равномерного прямолинейного движения тел. Как известно, заслуга придания этим двум состояниям одинакового онтологического статуса в равной мере принадлежит как Декарту, так и Ньютону. Не случайно видный историк науки А. Койре считал этот факт одним из наиболее революционных шагов науки Нового времени.⁴⁶ Тем интереснее, что Эйлер уже в XVIII в. оценил этот момент и привлек к нему внимание читателей «Писем».

Итак, Эйлер, как и Ньютон, наделял физические тела тремя основными свойствами: протяженностью, непроницаемостью и инерцией. Он полагал, что величина инерции определяется массой тела, а для преодоления инерции и изменения состояния тела необходима внешняя сила. Именно *внешнюю* силу Эйлер считал причиной изменения состояния тел. Эти представления вполне соответствуют ньютоновским. Они в корне отличны от позиции вольфианцев, полагавших, что изменение состояния тел происходит под воздействием *внутренних* сил. К тому же Эйлер и его петербургские коллеги вслед за Ньютоном рассматривали любое вещество имеющим пористое строение, между частицами которого существуют пустоты. Однако в отличие от Ньютона Эйлер считал эти пустоты заполненными эфиром, тогда как Ньютон не высказывался столь категорично. Как известно, он не включил представления об эфире в свои «Начала», хотя вроде бы и собирался это сделать. Тем не менее эти представ-

⁴³ Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... Т. 1. Lettre 69. P. 270. Перевод Н. И. Невской.

⁴⁴ Ibid. Lettre 70. P. 272. Перевод Н. И. Невской.

⁴⁵ Ibid. Lettre 74. P. 290. Перевод Н. И. Невской.

⁴⁶ Koyré A. Newtonian studies. London, 1965. P. 66—69.

ления вошли в знаменитые «Вопросы» Ньютона к его «Оптике», которыми много занимались петербургские ученые XVIII в.

Излюбленная аналогия между светом и звуком привела их (в том числе и Л. Эйлера) к ошибочному выводу о продольности световых колебаний, что надолго, вплоть до начала XIX в., задержало изучение интерференции и помешало разработке теории дифракции и интерференции на основе поперечных колебаний. Петербургские ученые весьма детально исследовали в эксперименте все свойства дифракции света. Как выяснилось, они проводили также и опыт по интерференции, т. е. сложению световых лучей, пропускаемых через две узкие и очень близкие друг к другу щели.⁴⁷ Как известно, именно на основании этих экспериментов Т. Юнг и О. Ж. Френель в 1816 г. пришли к выводу о поперечности световых колебаний, тогда как Эйлер и другие петербургские ученые, проводившие эти эксперименты в XVIII в., такого заключения не сделали. Этому помешала их слепая вера в полную аналогию между светом и звуком...

Однако интересно отметить, что исследования Ж. Н. Делиля, Эйлера и их петербургских коллег сыграли важную роль в изучении дифракции и интерференции света в XIX в.⁴⁸ Возвратившись в 1747 г. из России в Париж, Делиль привез с собой и свой архив, содержавший результаты всех экспериментов по дифракции и интерференции, выполненных в Петербурге, и всевозможные размышления на эту тему. В 1756 г. архив Делиля был куплен королем Франции и хранился после смерти ученого в Военно-морском министерстве. С созданием в Париже Бюро долгот в 1795 г. туда была передана и астрономическая часть архива Делиля, ставшая с тех пор доступной исследователям. Секретарь Бюро долгот Д. Ф. Араго тщательно изучил этот архив и широко использовал хранившиеся там рукописи для проведения собственных исследований по астрономии, геодезии, физике и истории астрономии. Араго привлек к делилевскому архиву внимание своих современников, в том числе П. С. Лапласа и приехавшего в Париж О. В. Струве. Высоко оценив этот архив, Араго добился передачи его Парижской обсерватории, директором которой он стал в 1830 г.

Среди других рукописей Делиля Араго заинтересовали исследования петербургских ученых по дифракции и интерференции света. Успешно повторив некоторые эксперименты, Араго убедился в том, что свет действительно обладает волновыми свойствами. Однако открыто выступить в защиту этих взглядов он не решился, так как в начале XIX в. общепринятым считалось ньютоновское представление о свете как потоке корпускул. Все члены Парижской Академии наук (в том числе и Лаплас) были ревностными сторонниками этих взглядов. Вот почему Араго избрал иной путь. По его предложению Парижская Академия наук объявила в 1815 г. конкурс на разработку теории света. Затем

⁴⁷ Невская Н. И. Дифракция света в работах астрофизиков XVIII в. С. 375—376.

⁴⁸ Подробно об этом см.: Там же. С. 373—376.

Араго предложил молодому французскому инженеру О. Ж. Френелю и английскому врачу Т. Юнгу провести по его указаниям (почерпнутым из архива Делиля) ряд экспериментов по дифракции и интерференции света. Методика проведения этих экспериментов (заимствованная из того же архива) также была подсказана им обоим Араго. Опыты по интерференции, которым петербургские ученые не придали в XVIII в. должного значения, Араго выполнил вместе с Френелем в сентябре 1816 г. Идея постановки опыта, как считал Френель, принадлежала Араго. Вначале он провел его сам, затем — вместе с Френелем и, наконец, рекомендовал этот опыт Т. Юнгу во время своей поездки в Англию в конце 1816 г.

Араго отказался от предложенного ему соавторства и настоял на том, чтобы Френель один подписал их совместную статью. Юнг первым опубликовал свои результаты, а работа Френеля, более полно освещавшая вопрос, была опубликована позднее. Оба исследователя убедительно доказали, что свет обладает волновыми свойствами, и предложили волновую теорию объяснения дифракции и интерференции, а затем и других явлений. После этого Араго представил Парижской Академии наук работы Юнга и Френеля и горячо выступил в их защиту. Так в начале XIX в. волновая теория света (которой придерживались петербургские ученые XVIII в.) стала общепринятой. Лишь в XX в. выяснилось, что свет — явление более сложное, чем полагали в XVIII и XIX вв. Оказалось, что он обладает как свойствами волны, так и свойствами частицы. Однако оба этих свойства никогда не проявляются в одном и том же эксперименте. Так, в 1905 г. А. Эйнштейн показал, что свет может излучаться и поглощаться только определенными «порциями». Эта единичная «порция», или «квант», «частица света», получила название «фотона». На основании корпускулярных, или квантовых, свойств света Эйнштейну удалось объяснить явления фотоэффекта и люминесценции. Стало ясно также и то, что волновые свойства света проявляются именно в тех экспериментах по дифракции, которыми с таким увлечением занимались в XVIII в. Л. Эйлер и его петербургские коллеги.

Итак, лабораторные эксперименты по дифракции света помогли петербургским астрономам открыть волновые свойства света. В то же время упомянутые выше опыты стрельбы 1727 г. убедили их в полной аналогии между светом и звуком,⁴⁹ помешав открыть интерференцию света и поперечность световых колебаний, что было установлено лишь в начале XIX в.

Вторым этапом петербургских исследований стали поиски аналогии между цветом и музыкой, подсказанной Ньютоном в 13-м и 17-м «Вопросах», приложенных ко второму изданию его «Оптики», вышедшему в 1717 г. Эти вопросы без изменения вошли и в третье английское издание «Оптики», опубли-

⁴⁹ Все петербургские ученые, за исключением Ф. У. Т. Эпинуса, приехавшего в Россию в 1757 г., верили в аналогию между светом и звуком и в волновые свойства света. См.: Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII в. М., 1974. С. 290—291.

ликованное в 1721 г. С него был сделан С. И. Вавиловым русский перевод, по которому можно познакомиться с этими вопросами.⁵⁰ Подтверждение аналогии между цветом и музыкальным тоном петербургские ученые нашли и в «Трактате о гармонии» известного французского композитора и теоретика музыки Ж. Ф. Рамо, изданном в 1722 г.⁵¹ В 30-е гг. XVIII в. Эйлер разработал теорию образования человеческого голоса и теорию музыки, основанную на теории гармонии.⁵²

Правда, опубликованы эти работы были значительно позднее.⁵³ И хотя музыканты порой неслестно отзывались о теории музыки Эйлера, которую они не могли использовать на практике, сам ученый и его единомышленники в Петербурге были довольны — они получили дополнительное подтверждение в пользу своих взглядов. Эйлер очень гордился своей теорией голосообразования и музыки и уделил им видное место в своих «Письмах» (см. письма 3—8, 26—27, 31, 133—137). К тому же эти занятия давали возможность «отвести душу» за клавесином, чем, по свидетельству своего ученика Н. Фуса,⁵⁴ Эйлер очень увлекался (у него был один из лучших клавесинов в Петербурге!).⁵⁵ Не прочь был послушать музыку своего любимого композитора Ж. Ф. Рамо и Ж. Н. Делиль.

Как было показано выше, Эйлер внимательно штудировал «Оптику» Ньютона и прежде всего приложенные к ней «Вопросы», на основе которых он разработал волновую теорию света и цветов. Данное им объяснение видимости освещенных темных тел, приведенное в настоящих «Письмах», также базировалось на вопросах 5—11.⁵⁶ Изучению ряда других проблем, связанных с механизмом зрения, были посвящены вопросы 12—16.⁵⁷ Этой теме в Петербурге уделялось особое внимание. Наряду с «Оптикой» Ньютона петербургские ученые штудировали и другие труды по оптике. Большой популярностью здесь вслед за Ньютоном пользовалась «Оптика» арабского ученого Ибн ал-Хайсама (965—1039) в латинском переводе польского натурфилософа и оптика XIII в. Витело.⁵⁸

Сохранившийся до наших дней в Библиотеке РАН экземпляр этой книги буквально испещрен многочисленными пометками, сделанными в XVIII в.

⁵⁰ Ньютон И. Оптика. С. 262, 264.

⁵¹ Rameau J. Fh. Traité sur l'harmonie. Paris, 1722.

⁵² Рукописные материалы Л. Эйлера в Архиве Академии наук СССР. Т. 1. С. 103, № 350—352.

⁵³ Euler L. 1) Meditatio de formatione vocum // Opera postuma. 1862. Т. 2. Р. 798—799; 2) Tentamen novae theoriae musicae ex certissimis harmoniae principiis dilucide expositae. Petropoli, 1739.

⁵⁴ Похвальная речь покойному Леонарду Эйлеру, сочиненная на французском языке и читанная в собрании Академии октября 23 дня Николаем Фусом // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. С. 358.

⁵⁵ Fuss N. Éloge de monsieur Léonhard Euler. SPb., 1783. Р. 16.

⁵⁶ Ньютон И. Оптика. С. 257—261.

⁵⁷ Там же. С. 261—264.

⁵⁸ Opticae Thesaurus Alhaseni arabis... Basiliae, 1572. 474 p.

Среди них привлекает внимание изображение строения глаза человека. Рядом со схемой — детальное перечисление и описание всех четырех преломляющих сред глаза. Интересно отметить, что петербургские ученые не ограничивались изучением схем оптической системы глаза человека. Они имели прекрасную и уникальную в то время возможность сравнить особенности анатомического строения глаза человека с глазами других обитателей Земли. В коллекцию анатомических препаратов Ф. Рюйша, описание которой составлялось в Академии, входило 109 препаратов глаз человека, кита, курицы, лягушки и теленка. Позднее, уже в Петербурге, трудами местного анатома И. Г. Дювернуа были добавлены препараты глаз слона, мухи, ночной совы и тюленя.⁵⁹

Сравнение анатомического строения глаз человека и различных животных четко выявило преимущества глаза человека, который за счет нескольких преломляющих сред мог создавать более правильное и четкое изображение, чем глаза других животных. Стало ясно, что развитие органа зрения в природе от животных к человеку шло от простых, однолинзовых систем к сложным, многолинзовым. Так возникла надежда на то, что, подражая живой природе, можно уменьшить хроматизм, т. е. окрашивание изображения, а заодно уменьшить и другие оптические дефекты телескопов и микроскопов. Для петербургских ученых, проводивших исследования по дифракции, когда белый свет разлагался на составные цвета, устранить хроматизм было особенно важно.

Однако в XVIII в. еще не умели строить таких инструментов, а Ньютон даже считал устранение хроматизма стекол принципиально невозможным. Вот почему он предложил заменить линзовые телескопы и микроскопы зеркальными и сам описал их модели в своей «Оптике». Мнение Ньютона благодаря его все возрастающему авторитету надолго задержало развитие оптики в странах Европы. Только петербургские ученые не могли с ним согласиться. Обязательное изучение работ анатомов стало традиционным для всех петербургских оптиков.

В первые годы своего пребывания в Петербурге, познакомившись с устройством человеческого глаза, Эйлер начал разработку своей знаменитой теории ахроматов, т. е. объективов телескопов и микроскопов, не дающих заметного окрашивания изображения. Три рукописи Эйлера с описанием моделей трубы с тремя линзами хранятся с тех пор в Архиве Петербургской Академии.⁶⁰ Все основные идеи этой теории были продуманы Эйлером в Петербурге, а публикация их началась в Берлине в 1749 г. и продолжалась вплоть до середины XIX в., через много лет после смерти их автора. На основе теории ахроматов Л. Эйлера английский оптик Дж. Доллонд в 1757 г. построил первый ахроматический телескоп. Первый ахроматический микроскоп на основе теории Эйлера был построен в Петербурге Ф. У. Т. Эпинусом в 1783 г.

⁵⁹ *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. С. 138—140 и др.

⁶⁰ Рукописные материалы Л. Эйлера в Архиве Академии наук СССР. Т. 1. С. 95, № 310—312.

Вспоминая о возникновении основных идей своей теории, Эйлер писал: «Вот источник, ...из которого я постарался позаимствовать для усовершенствования стеклянных объективов... я убедился, что в наших глазах находятся различные жидкости, расположенные таким образом, что не дают никакой диффузии фокуса. По моему мнению, это совершенно новый предмет в устройстве глаза, достойный удивления».⁶¹ И хотя в дальнейшем выяснилось, что полностью устранить все дефекты оптики инструментов все же не удастся, да и сам глаз не свободен от этих дефектов, Эйлер не переставал удивляться этому столь совершенному творению природы. Не случайно и в «Письмах к немецкой принцессе» он часто обращается к описанию механизма зрения и устройства человеческого глаза и разнообразных телескопов и микроскопов, значительно уменьшающих хроматизм (письма 36—40, 41—44, 99—100, 187—223).

Пристрастие к изучению анатомических препаратов, принесшее столь большую пользу в создании теории ахроматов, помогло Эйлеру разработать и теорию намагничивания тел. Так, он полагал, что под действием магнита все «поры» внутри физического тела должны выстроиться в ряд, образовав своеобразные «канальцы» наподобие кровяных или лимфатических сосудов в теле живых организмов. Вероятно, вспомнив о своей работе с коллекцией анатомических препаратов Ф. Рюйша⁶² и о демонстрациях петербургского анатома и врача И. Г. Дювернуа, Эйлер наделил эти канальцы намагниченных тел свойствами вен и лимфатических сосудов человека. Как известно, в стенках сосудов есть ворсинки, а в венах даже клапаны, которые препятствуют обратному движению крови и лимфы, заставляя их течь строго в одном направлении. Именно такими же ворсинками и клапанами Эйлер наделил и поры намагниченных тел (см. письма 177—186).

Лабораторные исследования по дифракции света, изучение механизма зрения и строения глаза, опытные стрельбы и проведение регулярных наблюдений метеорологических явлений, полярных сияний и т. п. были в дальнейшем использованы петербургскими учеными для решения вопроса об атмосферах небесных тел. Еще в Париже, наблюдая в 1715 г. явление покрытия Венеры Луной, Ж. Н. Делиль заметил какие-то цветовые эффекты в тот момент, когда Венера начала заходить за диск Луны, и в тот момент, когда она стала выходить из-за лунного диска.

Эти цветовые эффекты в Париже наблюдали многие, но все дали им различное объяснение. Так, друг Делиля Ж. Е. Лувиль приписал их атмосфере Луны, а не верившие в существование лунной атмосферы Ж. Кассини и

⁶¹ Euler L. Sur la perfection des verres objectifs des lunettes // Mémoires de l'Académie roy. sci. et belles-lettres. Berlin, 1749. V. 3. P. 274—296.

⁶² Именно тогда Эйлер познакомился и со своей будущей женой К. Гзелль, дочерью оформителя коллекций Кунсткамеры. Свадьба состоялась в 1733 г. ([Фус Н.] Похвальная речь... С. 377).

Ж. Н. Делиль объяснили эти эффекты первый — за счет хроматизма телескопов, второй — за счет дифракции или рефракции света в атмосфере Венеры. Причем надо было учесть и хроматизм человеческого глаза, о котором тогда еще ничего не знали. В 1715 г. вопрос так и остался нерешенным.

Тем больший интерес проявили петербургские ученые к наблюдениям покрытия Венеры Луной 8 (19) сентября 1729 г., невидимого на большей части территории Европы, но зато доступного наблюдениям в Петербурге, днем, при весьма благоприятных условиях. Готовясь к предстоящим наблюдениям, они принялись за разработку модели планетной атмосферы прежде всего на примере атмосферы Земли. Предложенная Л. Эйлером модель атмосферы-облака описана в его упоминавшейся выше статье «Попытка объяснения воздушных явлений»,⁶³ опубликованной в 1729 г. Эйлер представлял себе воздух как скопление бесконечного числа маленьких пузырьков, наружная оболочка которых состоит из воды. В зависимости от состояния атмосферы пузырьки могли расширяться или сжиматься. На основе опытных стрельб Эйлер правильно объяснил упругость воздуха, показав, что его нельзя сжать больше, чем до определенного объема, не равного нулю.

Ясно, однако, что такая атмосфера, в которой пузырьки воздуха всегда вплотную прилегали друг к другу, должна была напоминать облако, прозрачное вблизи, но совершенно терявшее свою прозрачность на большом расстоянии и превращавшееся в черную тучу, где невозможно заметить никаких цветовых эффектов. Петербургские ученые дружно отвергли модель Эйлера. Исходя из тех же опытных данных, но наделяя свойством упругости не каждую частицу воздуха в отдельности, а лишь всю совокупность частиц, Д. Бернулли предложил иную модель (впоследствии усовершенствованную М. В. Ломоносовым), на основе которой затем была разработана кинетическая теория газов. Модель Бернулли использовалась в 1728 г. в статье «О моровом поветрии», опубликованной в «Примечаниях на „Ведомости“». Объясняя там, почему опасность заражения чумой летом больше, чем зимой, петербургские ученые писали: «...истощания (т. е. истечения. — Н. Н.), зимою воздух наполняющие, летом болшую могут получить верткость и тем удобнее и сильнее тела наши проникати».⁶⁴ Д. Бернулли включил свою модель атмосферы в «Гидродинамику»,⁶⁵ написанную в Петербурге, а опубликованную в 1738 г. в Страсбурге.

Наблюдения 8 (19) сентября 1729 г. прошли успешно (в них участвовал и Эйлер). Сообщения об этих наблюдениях были опубликованы в издававшихся Академией на русском и немецком языках газете «Санкт-Петербургские ве-

⁶³ Euler L. Tentamen explicationis phaenomenorum aëris // Commentarii... Т. 2. Р. 349.

⁶⁴ Месячные исторические, генеалогические и географические примечания на Санкт-Петербургские ведомости. СПб., 1728. Ч. 10. С. 74.

⁶⁵ Бернулли Д. Гидродинамика, или Записки о силах и движениях жидкостей. Л., 1959. С. 282—341.

домости»⁶⁶ и журнале «Примечания на „Ведомости“».⁶⁷ В статье излагалась история поисков планетных атмосфер, приводился метод наблюдений, сообщалось о том, как они проходили. Для того чтобы исключить вредное влияние хроматизма стекол телескопа, изображение Венеры постоянно удерживалось в центре поля зрения, где вблизи оптической оси все дефекты многолинзовой системы близки к нулю. В «Письмах» Эйлер подробно рассмотрел ход лучей в различных оптических системах, составленных из нескольких линз.

В 1729 г. петербургским ученым не удалось заметить никаких цветовых эффектов. Это привело их к выводу, которым и заканчивалась статья в «Примечаниях»: «...не можно ли за неимением цветов и о небытии парного круга (т. е. атмосферы. — Н. Н.) около Луны весьма подлинно рассуждать. Время о том лутче всего объявит...».⁶⁸ В журнале Петербургской обсерватории сохранились записи об этих наблюдениях. Есть там и пометка, не попавшая в печать. Оказалось, что сам Делиль с помощью 23-футовой трубы заметил небольшое дрожание изображения за несколько секунд до того, как Венера полностью скрылась за диском Луны.⁶⁹ Это ставило под большое сомнение наличие атмосферы на Луне, но давало слабую надежду на то, что атмосфера существует на Венере. Оставалось ждать кольцеобразного солнечного затмения 25 июля 1748 г., во время которого можно было вновь попытаться решить вопрос об атмосфере Луны и Венеры.

По случаю предстоящих наблюдений 1748 г. Ж. Н. Делиль, находившийся тогда уже в Париже (он уехал из России в 1747 г.), опубликовал «Обращение к астрономам о кольцеобразном затмении Солнца, которое ожидается 25 июля 1748 г.».⁷⁰ Оно было разослано специалистам и любителям астрономии в разные страны мира. Не забыл Делиль и своих прежних петербургских коллег. Его «Обращение» получил и Л. Эйлер. Послано оно было и в Россию — в Академию наук и русской императрице Елизавете Петровне. Для предстоящих наблюдений была спешно восстановлена сгоревшая при пожаре 1747 г. Петербургская обсерватория, где 14 (25) июля 1748 г. в присутствии президента Академии наук К. Г. Разумовского кольцеобразное затмение Солнца наблюдали Н. И. Попов, М. В. Ломоносов и незадолго до того приехавший в Петербург из Германии И. А. Браун.⁷¹

⁶⁶ Санкт-Петербургские ведомости. 1729. 9 сент. № 72. С. 288.

⁶⁷ Месячные исторические, генеалогические и географические примечания на Санкт-Петербургские ведомости. СПб., 1729. Ч. 78. С. 313—316.

⁶⁸ Там же. С. 316.

⁶⁹ Невская Н. И. «Примечания на „Ведомости“» как научный журнал. С. 23.

⁷⁰ *De L'Isle J. N. Avertissement aux Astronomes sur l'éclipse annulaire du Soleil que l'on attend le 25 Juillet 1748.* Paris, 1748.

⁷¹ *Popov N., Braun J. A., [Lomonosov M. V.]. Observatio eclipsis solis anni 1748, die 14 / 25 mensis Julii... Novi Commentarii.* SPb., 1750. Т. 1. Р. 495, 496, 498—500. См. рус. перевод: Источники по истории астрономии России XVIII в.

Весь двор Елизаветы Петровны также проводил наблюдения по инструкции Делиля в Ораниенбауме. Участвовали в них и назначенный наследником престола Петр Федорович (будущий император Петр III) и его жена, тогда еще никому не известная Ангальт-Цербтская принцесса, будущая русская императрица Екатерина II. Эти наблюдения она описала затем в своих «Мемуарах».⁷² Интересно отметить, что и в дальнейшем она проявляла живой интерес к астрономии и к истории этой науки.

В наблюдениях кольцеобразного солнечного затмения 1748 г. участвовало много специалистов и любителей из разных стран Европы. В их числе был и Л. Эйлер, а также его бывшие петербургские коллеги, вернувшиеся в Германию, — Г. В. Крафт и Г. Гейнзиус. В результате всех исследований, проведенных в разных странах Европы, было убедительно доказано, что на Луне нет атмосферы, достаточно плотной для того, чтобы дать заметные эффекты дифракции или рефракции. И только Л. Эйлер, наблюдавший затмение в Берлине вместе с сестрами Кирх, «открыл» атмосферу Луны, опираясь на свою любимую модель «атмосферы-облака».⁷³ Никто из современников, однако, с такими выводами не согласился, и Эйлер решил, что подобная методика вообще не годится для поисков атмосфер небесных тел.

В 1761 г., когда Эйлер писал письма к немецким принцессам, научный мир усиленно готовился к наблюдениям редкого астрономического явления — прохождения Венеры по диску Солнца. Это явление наблюдается лишь дважды в столетие. В XVIII в. оно ожидалось в 1761 и 1769 гг. Ж. Н. Делиль вновь составил и разослал инструкцию по наблюдениям предстоящего редкого явления.⁷⁴ На его призыв откликнулись около 1 200 добровольцев, отправившихся в разные концы мира для проведения наблюдений. Предстояло попытаться обнаружить атмосферу Венеры и по предложенному Делилем методу определить параллакс Солнца, характеризующий его расстояние от Земли (так называемую астрономическую единицу, в таких единицах измеряются расстояния в Солнечной системе). Методы для измерения параллакса также были разработаны Делилем еще в Петербурге в 1729 и 1743 гг. Эйлер хорошо знал об этих методах и предстоящих наблюдениях, однако в «Письмах» обо всем, что так волновало ученых XVIII в., не сказано ни слова, хотя эти 234 письма, отправленные Эйлером к принцессам, охватывали период с 19 апреля 1760 г. и, по-видимому, до конца мая 1762 г. (последнее, 234-е письмо, не датировано, но предположительно отправлено 18 мая 1762 г.).

⁷² См.: Броше П. О затмении Солнца, упоминаемом в мемуарах Екатерины II // Развитие методов астрономических исследований. М.; Л., 1979. С. 536—537.

⁷³ Euler L. Sur l'atmosphère de la Lune prouvée par la dernière éclipse annulaire du Soleil // Mémoires de l'Académie roy. sci. et belles-lettres. Berlin, 1750. V. 4. P. 103—121.

⁷⁴ Delisle J. N. Du passage de Vénus sur le Soleil. Annoncé pour l'année 1761 // Histoire de l'Académie roy. sci. Paris, 1757. P. 77.

Напомним, что второе прохождение Венеры по диску Солнца, доступное наблюдателям XVIII в., — прохождение 1769 г. — Эйлер, находившийся тогда в России, уже не пропустил. Он активно участвовал в организации экспедиций, в подготовке их программ и обработке результатов. Чем же объяснить такой парадокс, как полное равнодушие к наблюдениям прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 г. и живой интерес к тому же явлению в 1769 г.? Можно полагать, что отчасти наблюдениям 1761 г. в Берлине и других городах Германии помешала Семилетняя война 1757—1763 гг. Однако, даже не имея возможности наблюдать сам, Эйлер мог рассказать своим ученикам о важности предстоящих наблюдений редкого и интересного астрономического явления, призыв наблюдать которое он получил от Ж. Н. Делиля.

По-видимому, Эйлер просто не верил в возможность обнаружить какие-либо цветовые эффекты в атмосфере Венеры, которую он считал темным телом при наблюдении с Земли. Тем не менее М. В. Ломоносов, как известно, с помощью делилевского метода, но опираясь на усовершенствованную им модель атмосферы планеты, предложенную Д. Бернулли, открыл атмосферу Венеры во время наблюдений прохождения этой планеты по диску Солнца 26 мая (7 июня) 1761 г.⁷⁵ Факты — упрямая вещь, особенно для ученого. И позиция Эйлера после этого начала меняться. Если раньше никто не мог убедить его в ошибочности предложенной им модели «атмосферы-облака», то в письмах, адресованных принцессам после открытия Ломоносова (см. письма 139—140, датированные 23 и 27 июня 1761 г. и последующие), он внес поправки в свою модель (ср. с письмом 32, датированным 27 июля 1760 г., и 70, датированным 25 октября 1760 г.).

В дальнейшем, вероятно уже при подготовке «Писем» к печати, Эйлер включил в них и резкие критические замечания по поводу своей модели, правда, скромно умолчав при этом об ее авторе. Так, описав модель атмосферы-облака, Эйлер заметил, что если бы атмосфера Земли действительно имела такое строение, то люди на поверхности нашей планеты обретались бы «во тьме египетской», никогда не видя Солнца (см. письмо 29). Интересно отметить, что Эйлер почти дословно повторил здесь высказывание М. В. Ломоносова из работы «Опыт теории упругости воздуха», написанной в 1748 г. и опубликованной в 1750 г.

Так, анализируя особенности двух моделей — Эйлера и Бернулли, всем хорошо известных в Петербурге, Ломоносов, не называя фамилии их авторов, писал: «Частицы воздуха можно представить себе двояким образом: либо отдельные частицы сложены так, что ...они стремятся распространить образующие их части и, таким образом, каждая отдельная частица может расширяться в большее пространство и сжаться в меньшее (это — как раз и есть модель Эйлера), либо свойство упругости проявляют не единичные частицы... но... со-

⁷⁵ Ломоносов М. В. Явление Венеры на Солнце... // Ломоносов М. В. Полн. собр. соч.: В 10 т. М.; Л., 1955. Т. 4. С. 361—376.

вокупность их (это — модель Д. Бернулли, усовершенствованная М. В. Ломоносовым).

Первое предположение, будучи крайне несоответствующим величайшей простоте природы, представляется также несовместимым с прозрачностью и нерушимой прочностью воздуха. Поэтому когда воздух разрежается от солнечной теплоты, то лучи Солнца должны непременно проникать в любую частицу. А так как... лучам необходимо пройти через... тяжелые твердые частицы бесконечное число раз, то это не может произойти без того, чтобы в любой частице воздуха они не претерпели преломление при входе и выходе. И хотя в частицах такого рода преломление может быть бесконечно мало, но преломившийся в бесчисленных частицах от поверхности атмосферы до самой Земли свет был бы настолько ослаблен, что нам пришлось бы обретаться в вечной ночи».⁷⁶

Не случайно, что всемогущий правитель Академической канцелярии И. Д. Шумахер, прославившийся своим коварством, именно эту работу Ломоносова послал на отзыв Л. Эйлеру в Берлин, уверенно рассчитывая на отрицательный отзыв. Конечно, Эйлер не мог не узнать свою модель, и резкая ее критика ему, вероятно, не понравилась. Тем не менее он дал восторженный отзыв на работу начинающего русского ученого, чем оказал Ломоносову большую поддержку. Однако и после этого Эйлер не отказался от своей модели, продолжая ревностно ее отстаивать.⁷⁷ И только открытие Ломоносовым атмосферы Венеры окончательно убедило ученого в том, что атмосфера планеты — значительно прозрачнее, чем он полагал раньше. Вот почему в 1769 г. Эйлер делал все, чтобы обеспечить успех наблюдений прохождения Венеры по диску Солнца. Но и старую свою модель он успешно использовал в «Письмах» для объяснения синего цвета неба (см. письма 32, 227, 228), а в разделах об электричестве применял «исправленную» модель атмосферы (см. письма 139—140). Теория Эйлера удачно объясняла электростатические явления, и Ломоносов дополнил ее электродинамическими явлениями, введя в теорию Эйлера вращательное движение частиц.⁷⁸

В «Письмах» нашли широкое отражение многочисленные и разнообразные исследования, начатые Эйлером в Петербурге и продолженные в Берлине. Работа в обсерватории и Географическом департаменте позволила ему овладеть опытом организации и проведения астрономо-геодезических наблюдений и вычислений, а также помогла освоить теорию и практику картографии. Не случайно, что по приезде в Берлин в 1741 г. Эйлер был назначен директором местной обсерватории и добросовестно исполнял эти обязанности вплоть до

⁷⁶ Ломоносов М. В. Опыт теории упругости воздуха // Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. М.: Л., 1951. Т. 2. С. 111.

⁷⁷ Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. Гл. 5.

⁷⁸ Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII в. С. 290—292.

возвращения в Россию в 1766 г.⁷⁹ Он делал все возможное, чтобы должным образом оснастить Берлинскую обсерваторию и наладить ее работу по хорошо ему знакомому петербургскому образцу.

1 февраля 1744 г. Эйлер с горечью писал Делилю: «...в Обсерватории все находится в таком состоянии, что совершенно нет возможности сделать наблюдения, на которые можно было бы положиться».⁸⁰ Он просил Делиля по пути из России на родину заехать в Берлин и помочь наладить работы обсерватории. Эйлер писал: «То, что я сказал Вам мимоходом о состоянии здешней Обсерватории, ясно покажет Вам, как было бы необходимо, чтобы Вы ею занялись и помогли ей... Санкт-Петербургская обсерватория приобрела Вашими заботами столь высокую репутацию...».⁸¹ И далее: «Правда, принимаются все возможные меры для увеличения средств и намереваются поставить Обсерваторию должным образом, но для этого нужно выписать первоклассные инструменты из Англии, и вряд ли можно найти хороших астрономов на малое жалование, какое могут им платить...».⁸²

По дороге в Париж Делиль заезжал в Берлин, где прожил у Эйлера с 20 июля по 22 августа 1747 г.⁸³ Он проложил в обсерватории линию меридиана. Однако на оснащение Берлинской обсерватории инструментами и приглашение высококвалифицированных специалистов средств так и не нашлось.

С первых же лет пребывания в Петербурге Эйлер начал разработку теории движения солнечных пятен, Луны, а затем и других небесных тел. Это новое направление науки он назвал «астрономической механикой», однако общепринятым стало название «небесная механика», предложенное в 1798 г. П. С. Лапласом. Особое внимание в XVIII в. уделялось разработке теории движения Луны, на основе которой составлялись астрономические таблицы, позволяющие определять долготу корабля в открытом море. Ввиду большой важности вопроса британский парламент в 1714 г. предложил премию в 10 000 фунтов стерлингов за разработку метода определения долготы в море с точностью до 0.5° . Вскоре премия была удвоена, однако решить столь трудную задачу никому не удалось.

Эйлер много занимался этой проблемой, предложил несколько вариантов теории движения Луны. Одна из них, так называемая первая теория Луны, была опубликована в 1753 г. в Берлине на средства Петербургской Академии наук. На основе этой теории немецкий ученый И. Т. Майер составил весьма точные лунные таблицы. В 1765 г. таблицы Майера и теория Л. Эйлера по-

⁷⁹ Грау К. Леонард Эйлер и Берлинская Академия наук // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. С. 85.

⁸⁰ Л. Эйлер и Ж. Н. Делиль в их переписке, 1735—1765 / Публ., примеч. А. П. Юшкевича, Т. Н. Кладо, Ю. Х. Копелевич // Русско-французские научные связи. Л., 1968. С. 174.

⁸¹ Там же. С. 175.

⁸² Там же. С. 175—176.

⁸³ Там же. С. 253.

лучили премию британского парламента. Все эти сюжеты нашли отражение и в «Письмах».

Большое внимание Эйлер и его петербургские коллеги уделяли метеорологическим и геофизическим наблюдениям. Регулярно отмечали температуру воздуха и воды в реке Неве, ее уровень, атмосферное давление, высоту приливов и отливов, изменения магнитного наклона и склонения, наблюдали полярные сияния. Петербургские ученые составляли таблицы атмосферной рефракции, таблицы полуденных уравнений Солнца, таблицы наступления сумерек, составляли календари. Последнее умение особенно пригодилось Эйлеру в Берлине, так как единственным источником дохода местной Академии была продажа календарей. И эти вопросы получили всестороннее освещение в «Письмах». Причем интересно отметить, что тексты многих писем почти дословно совпадают с текстами статей, печатавшихся в 1728—1742 гг. в «Примечаниях на „Ведомости“».

Выпуск этого журнала, как, впрочем, и единственной в то время русской газеты «Санкт-Петербургские ведомости» Академия взяла на себя в 1726 г., следуя петровскому уставу Академии, в котором ученым предписывалось не только развивать науку и готовить русские кадры, но и заботиться о распространении научных знаний, «чтоб чрез обучение и разпложение оных польза в народе впредь была».⁸⁴ Газета использовалась как орган специальной «экспресс-информации» о работах Академии. С 1728 г. группа академической молодежи решила издавать приложение к газете — журнал, где можно было бы разъяснять краткие газетные сообщения. Инициатором издания и первым редактором «Примечаний на „Ведомости“» стал историк Г. Ф. Миллер, который, несмотря на молодость (ему было тогда 23 года), имел опыт журналистской работы и до приезда в Петербург слушал специальные лекции по журналистике в Лейпцигском университете — главном центре немецкой журналистики.

Этот первый в России научно-популярный (и научный!) журнал, как и газета, состоял из четырех небольших страничек объемом в 0.5 австорского листа. В 1728 г. вышло всего 10 номеров журнала (в ноябре и декабре он не издавался). С 1729 г. «Примечания» стали выходить регулярно, но по два раза в неделю. Несмотря на небольшой объем каждой отдельной «части», как назывались номера журнала, той или иной теме посвящалось несколько частей, порой до 10 и более, так что в общей сложности получались довольно большие статьи, подробно освещавшие затронутые вопросы. До 1736 г. включительно статьи печатались анонимно, и лишь с 1738 по 1742 г. их стали подписывать инициалами автора, а в русском издании, как правило, и переводчика. Журнал просуществовал всего 13 лет и 2 месяца, с 1728 по 1742 г. (с перерывом в 1 год и 4 месяца, с сентября 1736 по 1738 г.). За краткий

⁸⁴ История Академии наук СССР. Т. 1. Ч. 1. С. 429.

срок своего существования «Примечания» завоевали широкую популярность не только в России, но и в немецкоязычных странах Европы и сыграли важную роль в пропаганде ньютоновского естествознания и работ петербургских ученых.

Первые же номера «Примечаний», вышедшие в 1728 г. на русском языке, привлекли к себе внимание многих читателей и по их требованию журнал стал издаваться регулярно два раза в неделю и на двух языках — русском и немецком. В числе постоянных подписчиков газеты и журнала были: обер-комендант Ревеля (ныне — Таллин) А. П. Ганнибал⁸⁵ (прадед А. С. Пушкина), обер-прокурор Сената Н. Ю. Трубецкой⁸⁶ (близкий друг А. Д. Кантемира), молдавский господарь К. Д. Кантемир⁸⁷ (старший брат А. Д. Кантемира), руководители так называемой Оренбургской экспедиции И. К. Кирилов и В. Н. Татищев,⁸⁸ дипломат и будущий канцлер России М. И. Воронцов⁸⁹ и мн. др. Газету и журнал получали и с интересом читали при дворе, а также во всех государственных учреждениях России.⁹⁰ Их в обязательном порядке рассылали всем русским послам в странах Европы. Коллегия иностранных дел внимательно следила за тем, чтобы русскую газету и журнал получали особенно в соседних с Россией странах.⁹¹

Среди корреспондентов «Примечаний» были наиболее образованные люди России XVIII в., такие как архиепископ Новгородский Феофан Прокопович, И. К. Кирилов, В. Н. Татищев, Ф. С. Соймонов, А. И. Остерман, Б. К. Миних, А. Д. Кантемир, А. И. Черкасский, С. Г. Строганов, а также жившие в России грузинский царь Бакар и его сводный брат В. В. Багратиони.

Работа по выпуску газеты и журнала открыла широкие возможности для творчества первых академических ученых-иностранцев (в их числе был и Л. Эйлер) и их русских учеников и коллег. Ученые-иностранцы писали статьи по-немецки или по-французски, а их русские ученики, не имевшие еще достаточных знаний для проведения самостоятельных исследований, переводили их на русский язык. Вплоть до сентября 1736 г. статьи печатались анонимно, так как их содержание обсуждалось коллективно и считалось общим мнением Академии. Письменно изложить это мнение предлагалось только кому-либо одному, как правило, тому, кто занимался данным исследованием.

Переводческая деятельность стала хорошей школой для будущих русских ученых. Знакомясь по первоисточнику с достижениями мировой науки своего времени, они старались наиболее полно и точно передать эту информацию своим соотечественникам, не владевшим иностранными языками. Это было

⁸⁵ ПФА РАН, ф. 3, оп. 1, № 65, л. 56—59.

⁸⁶ Там же, № 70, л. 116—118.

⁸⁷ Там же, № 72, л. 31—39.

⁸⁸ Там же, № 94, л. 125.

⁸⁹ Там же, № 104, л. 204—204 об.

⁹⁰ Там же, № 94, л. 125.

⁹¹ Там же, № 77, л. 502—507.

весьма трудным делом в то время, так как научной терминологии на русском языке тогда еще не существовало. Ее создателями стали первые русские переводчики, работавшие в «Санкт-Петербургских ведомостях» и «Примечаниях» к ним. Именно эти переводчики, среди которых прежде всего следует назвать В. Е. Адодурова, И. С. Горлицкого, В. К. Тредиаковского, М. В. Ломоносова, С. М. Коровина и А. Д. Кантемира, блестяще справились с трудной задачей. Если в 1728 г. русские тексты были еще непонятны современному русскому читателю, то через 2—3 года язык научных публикаций стал уже почти похож на современный. Здесь, в частности, переводчик И. С. Горлицкий впервые ввел слова «спутник», «созвездие», «Млечный путь» и т. п.

В «Примечаниях» публиковались статьи, охватывавшие широчайший круг проблем естествознания XVIII в. Здесь было все, от описания всевозможных астрономических, метеорологических и геофизических инструментов и приборов, в том числе астрономических часов (1728, ч. 8; 1731, ч. 2—10; 1732, ч. 36—38), а также методов их использования (1734, ч. 32—34, 45, 48, 77, 78, 90—92, 100; 1735, ч. 52—54, 56, 58—60 и др.). Сообщалось о наводнениях (1729, ч. 88, 90, 91; 1741, ч. 47, 48), необычайных северных сияниях (1730, ч. 14—17, 21, 25, 32, 35, 77, 78; 1739, ч. 45—48), галó (1734, ч. 4, 5), грозах (1735, ч. 36), морозах (1740, ч. 91, 92) и многих других явлениях природы. Печатались здесь и интересные сводки с анализом петербургских наблюдений за 8, 9 и 10 лет (1734, ч. 5; 1735, ч. 36; 1738, ч. 70—75; 1740, ч. 80—86 и др.).

Большое внимание уделялось наблюдению астрономических явлений, таких как кометы (1728, ч. 2; 1733, ч. 86; 1742, ч. 33—41), затмения (1729, ч. 78 и др.), солнечные пятна (1735, ч. 23—27), переменные и новые звезды (1734, ч. 16; 1738, ч. 7—9, 12—16), Млечный путь (1739, ч. 6—8), зодиакальный свет (1739, ч. 45—48) и др. Обсуждались в «Примечаниях» и проблемы существования атмосфер на Луне и других планетах, физическая природа наблюдавшихся явлений, а также вопрос об истинной системе мира.

При этом, говоря о природе и движении комет, авторы никогда не забывали отметить нелепость всевозможных суеверий, связанных с их появлением. Касаясь вопроса о необходимости составления точных географических карт, авторы увлекательно описывали дальние морские путешествия, связанные с открытием Америки. При этом не забывали напомнить об антиподах и их отрицании святым Августином. Обсудив методы определения долготы в открытом море, заодно осуждали жестокость и алчность европейских конкистадоров, проявленные ими при завоевании Америки.

Развивая тезис Делиля о том, что в истории науки поучительны даже ошибки, «Примечания» напечатали в 1729 г. серию статей о неразрешимых задачах: вечном двигателе, квадратуре круга, удвоении куба и трисекции угла (1729, ч. 56, 58, 61, 65, 67, 69). Здесь в занимательной форме рассказывалось об истории развития математики, механики, астрономии. Было убедительно показано, что даже при решении «бесполезных (курсив мой. — Н. Н.) задач можно извлечь пользу для науки.

Во-первых, работая над решением трудных задач, ученые испытывают радость, которую они ценят „более других награждений”. Во-вторых, «в геометрии каждое изыскание многим другим помощь дает». И в-третьих, при обсуждении неразрешимых задач нередко удается разработать новые математические методы. Методы эти сравнивались с ключами от запертой комнаты. Не беда, если одна из комнат окажется пустой. С помощью ключа можно открыть и другую дверь, за которой спрятаны сокровища! Конечной же целью всех научных исследований признавалось... создание «истинной астрономии». Как утверждалось, то, что «к исправлению истинной астрономии принадлежит, за самую полезную вещь почитать должно...» (1729, ч. 58, с. 232).

Печатались в «Примечаниях» и статьи по медицине, химии, физике, технике и философии. Большой интерес читателей вызвала серия статей под общим названием «О сыскиваемых в земли звериных костях, а особливо о мамонтовых» (1730, ч. 80—83; 88—91; 1732, ч. 100, 101). Рассказывая о найденных ископаемых останках древних животных, авторы сообщили о родстве мамонтов со слонами (установленном петербургским анатомом И. Г. Дювернуа) и обсудили вопрос о возможных космических причинах, приведших к изменению климата на Земле, и других обстоятельствах, обусловивших изменение вида этих животных. Заодно опровергалось и ходячее мнение о том, будто кости мамонта — это останки допотопного «зверя бегемота», описанного в Библии.

Журнал активно выступал против алхимии (1731, ч. 22—27, 32—40, 53—56), астрологии (1732, ч. 54—58; 1735, ч. 33—39), разоблачал веру в колдунов, привидения и всевозможные чудеса. Некоторые из публикаций носили резко антиклерикальный, порой даже атеистический характер. Начало им положила статья Г. Ф. Миллера «О камне азбесте и полотне, которое из оного камня делается» (1728, ч. 4—7; 1729, ч. 21). Интересно, что свидетельства древних авторов о негорючести ткани из асбеста Миллер проверил с помощью эксперимента, который предлагалось повторить всем желающим. Взвесив кусочек асбестового полотна, Миллер несколько минут подержал его над огнем, а затем, вновь взвесив, убедился, что «онный камень некоторую знатную часть тяжести своей утратил» (1728, ч. 6, с. 42).

«Примечания» боролись с разного рода суевериями, в том числе связанными с кометами (1728, ч. 2), с «чудесным врачеванием желез, от английских и французских королей бываемом» (1728, ч. 9; 1729, ч. 95—101), лечением бешенства (1729, ч. 9—10) и т. п. Журнал гневно обличал нечестных священнослужителей, которые из корыстных побуждений прибегали к обману верующих и демонстрации мнимых «чудес» (1729, ч. 52—53). Их деятельность противопоставлялась жизни и деяниям первых христиан бессребреников, беззаветно жертвовавших жизнью за свои убеждения. Завершал серию этих статей ответ на вопрос, присланный в редакцию: «Что о привидениях и колдунах рассуждать надлежит?» (1735, ч. 48—51).

Часто печатались в «Примечаниях» материалы по истории возникновения разных обычаев и традиций римско-католической церкви: пожалование папой

новых кардиналов (1728, ч. 1, 4), обручение дожа Венеции с морем (1728, ч. 9, с. 69—70), выплата папе вассальных денег королями Сицилии и Неаполя (1728, ч. 62—64), церемония целования папских туфель (1729, ч. 102) и т. п. Сообщая читателям о жизни и деятельности главным образом тех пап и кардиналов, которые преследовали ученых, петербургские академики никогда не упускали случая подчеркнуть, что это были очень плохие люди, наделенные многими пороками. Так, например, о папе Урбане VIII, осудившем Галилея, сообщалось, что он раздал своим родственникам 227 духовных должностей и 30 миллионов наличных денег (1729, ч. II, с. 43).

Л. Эйлер принимал самое активное участие в издании «Примечаний на „Ведомости“». Рассказывая о работе над этим журналом в 1729 г., Г. Ф. Миллер писал: «Теперь (т. е. в 1729 г. — Н. Н.) также господа Эйлер, Гмелин, Крафт, Вайтбрехт решились работать для этих листков, так что они становились по разнообразию собранных в них материалов чем дальше, тем популярнее. Сформировалось общество, которое собиралось по вечерам каждую субботу у господина Шумахера, где оно обсуждало предметы, на темы которых должно было печатать статьи».⁹² Одной из первых статей, подготовленных Эйлером для «Примечаний», по-видимому, можно считать два раздела «О приливе и отливе моря» (1729, ч. 90, 91), включенные в большую серию статей под общим названием «О прибывании и убывании воды в реке Неве» (1729, ч. 86, 88—91).

Основным автором этой серии статей был Г. В. Крафт, в то время штатный сотрудник Петербургской обсерватории, проводивший систематические наблюдения за колебаниями уровня воды в Неве и метеорологические наблюдения. Однако разделы о приливах писал Эйлер, который в те годы непосредственно занимался изучением приливов. Такое предположение подтверждается и тем обстоятельством, что расположение материала и основная аргументация этих разделов почти точно совпадают с изложением аналогичных разделов из «Писем к немецкой принцессе» (см. письма 62—67). К тому же, как будет показано, это далеко не единственный случай сотрудничества Л. Эйлера с Г. В. Крафтом при написании статей для «Примечаний».

Сравнив картезианское «давление лунного вихря» на воздушный и водный океаны Земли с ньютоновским притяжением их к Луне, Эйлер, опираясь на астрономические и метеорологические наблюдения Петербургской обсерватории, смог опровергнуть «вихревую теорию» Р. Декарта. Он писал: «...сия от Картезия объявленная причина в действо произведена быть не может. Ибо ежели б воздух под Луною так жестоко угнетал, то надлежало бы оного действие и на ртуе в барометрах приметить, от которого она знатно выше подымалась, но сие непримечено. Потом надлежало бы морю в то время, как Луна чрез полуденную линию идет, убывать, чему противное толь паче примечается...

⁹² Миллер Г. Ф. История Академии наук // Материалы для истории Императорской Академии наук: В 10 т. СПб., 1890. Т. 6. С. 181.

Чего ради Кеплер причину того более притязавшей силе Луны, нежели угнетению приписал, а господин Невтон доказал потом помощью вышния математики зело изрядно...» (1729, ч. 90, с. 363). Следует отметить, что это столь резкое выступление против «вихревой теории» Декарта, опубликованное в журнале 11 ноября 1729 г., было первым.

В настоящее время есть основания полагать, что Л. Эйлером были написаны восемь серий статей, опубликованных в разные годы в «Примечаниях». Это: «О кораблеплавании» (1729, ч. 2, 29); «О приливе и отливе моря» (1729, ч. 90, 91); «О сыскании долготы мест на море» (1729, ч. 16, с. 61—64); «О сыскании долготы мест на Земле» (1734, ч. 53—55, 57—59); «О кометах» (1733, ч. 86, с. 343—346); «О Земле» (1732, ч. 6—12, 49, 50); «О внешнем виде Земли» (1738, ч. 27, 30—32) и «О том, как должно примечать морские приливы и отливы» (1740, ч. 9—10). Предпоследняя статья (русский и немецкий тексты) подписана Эйлером. Последняя, хоть и не подписана, но, как показала Ю. Х. Копелевич,⁹³ текстуально совпадает с рукописью работы Эйлера о приливах.⁹⁴ Материалы этой статьи также использованы в «Письмах», тем более что именно эта работа была премирована на конкурсе Парижской Академии наук.

В них на основе учения Коперника—Кеплера—Ньютона давалось представление о Земле как рядовой планете Солнечной системы, рассматривались методы определения широт и долгот на суше и на море, а также объяснялось, как определяется фигура Земли. Говоря о шарообразности Земли, нельзя было не упомянуть и об антиподах, существование которых решительно отрицал блаженный Августин (354—430), основатель западноевропейской католической догматики. Иронический рассказ об Августине и антиподах упоминался дважды — в статьях «О Земле» (1732) и «О кораблеплавании» (1729). Почти в том же виде Эйлер изложил его и в «Письмах» (см. письма 48—49).

Как известно, в XVIII в. вопрос об антиподах живо волновал читателей «Примечаний». Впечатления, испытанные им в юности, выразил впоследствии М. В. Ломоносов в «Письме о пользе стекла» такими стихами:

Нас больше таковы идеи веселят,
Как Божий некогда описывая град,
Вечерний Августин душою веселился,
О коль великим он восторгом бы пленился,
Когда б разумну тварь толь тесно не включал,
Под нами б жителей, как здесь, не отрицал,
Без Математики Вселенной бы не мерил!
Что есть Америка, напрасно он не верил:
Доказывает то подземной Католик,
Кладя златой его в костёлах новых лик.⁹⁵

⁹³ Копелевич Ю. Х. Забытые страницы «Примечаний на „Ведомости“». С. 43—44.

⁹⁴ Euler L. Inquisitio physica in causam fluxus ac refluxus maris // Pièces remp. prix de l'Académie roy. sci. Paris, 1740. V. 7. P. 1—90.

⁹⁵ Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. М.: Л., 1959. Т. 8. С. 518.

Интересно отметить, что в текст статей «О Земле» были включены наиболее яркие места из речей Ж. Н. Делиля и Д. Бернулли в защиту Коперника, с которыми они выступали на публичном собрании Петербургской Академии наук 12 марта 1728 г.⁹⁶ Статья заканчивалась язвительным рассуждением об уникальности земных форм жизни. Описав строение Вселенной и множество обитаемых миров, Эйлер не без сарказма заметил: «Теперь хотел бы я знать ежели кто все сие здраво разсудит, будет ли он еще такое мнение иметь, в котором многие состоят, что будто наша Земля одна благодать Творца изображает и что все прочее, что ни есть, для пашей Земли и ея жителей от Бога сотворено?» (1732, ч. 10, с. 39). Подобное мнение, как утверждалось далее, было бы равносильно убеждению известного афинского сумасшедшего, описанного в книге Фонтенеля «Разговоры о множественности обитаемых миров». Этот несчастный полагал, что любое входящее в гавань Пирея судно прибыло сюда специально для него. С тем же основанием, отмечалось в статье, и паук, раскинувший свою паутину в укромном уголке огромного здания оперного театра, вправе считать, что это здание было построено лишь для того, чтобы ему стало удобнее ловить мух!

Правда, в дальнейшем Эйлер изменил это мнение. Так, в подписанной им серии статей «О внешнем виде Земли», опубликованной в 1738 г., после смерти Феофана Прокоповича, постоянного заступника петербургских ученых, он уже не позволял себе подобных выпадов. В «Письмах к немецкой принцессе» Эйлер еще больше изменил позицию, окончательно перейдя к антропному принципу, о чем подробно будет сказано дальше.

Следует отметить, что публикация статей «О Земле» преследовала и еще одну цель. Она должна была дать ответ на вопрос: «Могло ли Солнце двигаться точно по экватору, чтобы по всей Земле было одинаково тепло?». Именно такой вопрос задал В. Н. Татищеву, приславшему статью о мамонтах, Феофан Прокопович.⁹⁷ Ответ Татищева, базировавшийся на книге английского теолога-картезианца Т. Бернета (1635—1715) «Священная теория Земли»,⁹⁸ совершенно не удовлетворил петербургских ученых. Пришлось опубликовать серию статей «О Земле», где, в частности, были детально разобраны взгляды Декарта и Бернета о состоянии Земли «до потопа». Показав несостоятельность этих взглядов, Эйлер писал: «Мы разсуждаем, что те, которые свой разум в естественных вещах употребляют хотя, лучше сделают, когда оных в таких вещах употребляют станут, где надежда есть, что от подлинных и не споримых оснований нечто несомненное произвести можно. Но какое основание имеется в таких случаях, как сей есть? И кто на то заключение согласится... что все так случиться могло, как о том Картезий и выше помянутые объявили, что сие того ради и подлинно так сделалось?» (1732, ч. 6, с. 22—23). И лишь

⁹⁶ Discours lû dans l'Assemblée publique de l'Académie des sciences le 2 mars 1728...

⁹⁷ Татищев В. Н. Избранные произведения. Л., 1979. С. 6—7, 464.

⁹⁸ Burnet Th. Telluris Theoria sacra. Londini, 1680—1689.

после выхода этих статей была напечатана и заметка Татищева о мамонтах (1732, ч. 100, 101). Правда, из нее изъяли все ссылки на Бернети и Декарта, отчего статья только выиграла.

Ю. Х. Копелевич удалось установить авторство Л. Эйлера в отношении еще одной серии статей в «Примечаниях». Речь идет о материалах под общим названием «О бывшем великом тому недавно Северном сиянии» (1730, ч. 14—17, 21, 25, 32, 35, 77, 78). До последнего времени автором статей считали Г. В. Крафта, который, по утверждению П. П. Пекарского,⁹⁹ опубликовал пять статей о полярных сияниях. Если верно, что из десяти названных выше заметок, опубликованных в 1730 г., пять написаны Крафтом, то какие именно? И кто автор остальных? Изучая переписку Г. Ф. Миллера с И. Д. Шумахером, Ю. Х. Копелевич нашла там указания на то, что статьи, освещающие историю вопроса (1730, ч. 14—17, 21), писал сам Миллер. Автором двух последних частей (1730, ч. 77, 78), содержащих пересказ теории Ф. Х. Майера, был Г. В. Крафт. Автором же центральных разделов, содержащих теорию происхождения полярных сияний, Миллер назвал Л. Эйлера.¹⁰⁰

До сих пор не было известно, чтобы Эйлер проявлял интерес к полярным сияниям ранее 1746 г. Тем более интересно, что в статье 1730 г. он дал критический анализ всех особенностей полярных сияний и всех предложенных теорий их возникновения от Аристотеля и Декарта до петербургского академика Ф. Х. Майера, сотрудника Академической обсерватории. Статья базировалась на регулярных наблюдениях, проводившихся в Петербурге с 26 февраля (9 марта) 1726 г. В них под руководством Ж. Н. Делиля участвовали все штатные и добровольные сотрудники обсерватории, в том числе, по-видимому, и Эйлер. Формальным поводом для публикации этой серии статей в «Примечаниях» послужило наблюдение аномального полярного сияния 5 февраля 1730 г. Однако истинной причиной стала замеченная петербургскими астрономами явная активизация различных процессов в околоземном пространстве. Проявлялась она в резком увеличении числа и яркости полярных сияний, в учащении разнообразных изменений погоды и т. п. Это заставляло ожидать активизации и других процессов.

Прогнозы блестяще подтвердились. 15 июля 1730 г. на Солнце удалось заметить первые солнечные пятна. Их наблюдения пользовались в Петербурге огромной популярностью и привлекали в обсерваторию множество любопытных, приходивших полюбоваться редким и красочным зрелищем. Здесь бывали все сотрудники Академии, а также студенты и преподаватели академической гимназии и университета, даже любознательные горожане. Как можно судить по журналу обсерватории, систематическими наблюдениями солнечных пятен занимались Делиль, Крафт, Х. Н. Винсгейм и Эйлер. В первом полугодии

⁹⁹ Пекарский П. П. История Императорской Академии наук в Петербурге. СПб., 1870. Т. 1. С. 465.

¹⁰⁰ Копелевич Ю. Х. Забытые страницы «Примечаний на „Ведомости“». С. 40—43.

1736 г. побывал здесь впервые и М. В. Ломоносов, привезенный из Москвы в Петербургскую Академию наук вместе с одиннадцатью товарищами для продолжения образования. Заходили посмотреть на солнечные пятна также переводчик В. К. Тредиаковский и кадет Шляхетного корпуса А. П. Сумароков, а в 1730 г. — студент А. Д. Кантемир.

Не случайно, что все, кто владел рифмой, запечатлели затем в поэтической форме свои впечатления. Более поздние стихи Ломоносова теперь общеизвестны:

Когда бы смертным толь высоко
Возможно было возлететь,
Чтоб к Солнцу бrenно наше око
Могло приблизившись, возреть,
Тогда б со всех открылся стран
Горящий вечно Океан.
Там огненны валы стремятся
И не находят берегов,
Там вихри пламенны крутятся,
Борясь множеством всков;
Там камни, как вода, кипят.
Горящи там дожди шумят.¹⁰¹

А вот как о том же писал В. К. Тредиаковский:

Но Солнце отчего в себе толь постоянно?
Оно, как зрится нам, есть пламя разлианно;
Оно как море есть, как зыбкий и состав.
Кто ж твердый толь ему преднаписал устав,
Что волны то свои включило свет в границы?
И от чией же в них так держится десницы?
Кто вводит шар его в порядочный толь круг?
И сбиться кто ж с путей не допускает вдруг?¹⁰²

Примерно то же самое можно встретить и у названных выше других русских поэтов. Раньше, когда не было известно о работах Петербургской обсерватории, эти стихи считали «поэтическим прозрением», «игрой поэтического воображения», а не живыми впечатлениями от вполне реальных наблюдений солнечных пятен и дискуссий об их физической природе. Образ огненного моря на Солнце использовал в своих лекциях 1707—1709 гг. в Киево-Могилянской академии Феофан Прокопович.¹⁰³ В «Примечаниях» образ «солнечного моря» появился в статье Крафта, посвященной солнечным пятнам (1735, ч. 26, с. 105), правда, в прозаической форме.

¹⁰¹ Ломоносов М. В. Утреннее размышление о Божием величестве // Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. Т. 8. С. 117—118.

¹⁰² Тредиаковский В. К. Феоптия // Тредиаковский В. К. Избранные произведения / Под ред. В. Н. Орлова. М.: Л., 1963. С. 230.

¹⁰³ Прокопович Ф. Натурфилософия или физика / Публ. В. М. Ничик, М. Д. Роговича // Историко-астроном. исследования. 1975. Вып. 12. С. 365.

Еще в XVII в. было замечено, что с появлением на Солнце больших групп пятен чаще случаются и полярные сияния. Однако вскоре после открытия Г. Галилеем солнечных пятен в 1610 г. наступил так называемый Маундеровский минимум солнечной активности и до 1712 г. пятна почти невозможно было увидеть. Ж. Н. Делиль, наблюдавший в 1713 г. в Париже первые после минимума солнечные пятна, договорился со своим другом Ж. Ж. Дорту де Мерапом вести систематические наблюдения метеорологических явлений, полярных сияний и солнечных пятен с тем, чтобы собрать достаточную статистику как по России, так и по Франции. Позднее к этим работам присоединился и А. Цельсий, собиравший аналогичные данные по Швеции и Скандинавским странам. Так были начаты работы, аналогичные современной Службе Солнца.

Петербургские астрономы уже в 1730 г. установили существование тесной взаимосвязи между солнечной активностью и различными процессами в околоземном пространстве, в водном и воздушном океанах Земли. Фиксируя резкие погодные изменения, наводнения, засухи, землетрясения и другие аномальные явления, петербургские ученые заметили также и влияние солнечной активности на растения, животных и человека. Интересно отметить, что, готовя сводку наблюдений за 10 лет (с 1726 по 1736 г.), Академия обратилась в Медицинскую канцелярию Петербурга с запросом о числе заболевших и умерших по годам за этот период до 1738 г.¹⁰⁴ В «Примечаниях» этот обзор был напечатан в том же 1738 г. (1738, ч. 70—75).

Первой публикацией о единстве физической природы полярных сияний и хвостов комет стала статья «О кометах», напечатанная в 1733 г. (1733, ч. 86). Основное внимание уделялось здесь физической природе кометных хвостов. Образование полос в хвосте кометы рассматривалось как явление, происходящее в атмосфере кометы, по аналогии с образованием «столбов» полярных сияний в атмосфере Земли. Отмечалась важность изучения комет для разработки в будущем методов определения орбит комет и планет, а также для выяснения вопроса о плотности межпланетной среды (1733, ч. 86, с. 343—346). Именно такими вопросами в начале 30-х гг. XVIII в. и занимался Эйлер. В 1739 г. к этому кругу явлений присоединили и Зодиакальный свет (1739, ч. 45—48). В 1746 г. в Берлине Эйлер подытожил все факты и дал их полный анализ в статье, опубликованной уже в Берлине в 1748 г.¹⁰⁵ Эти вопросы подробно отражены и в «Письмах к немецкой принцессе».

Интересно отметить, что идеи Эйлера о Вселенной как «химической лаборатории» М. В. Ломоносов в дальнейшем развил и конкретизировал как «космическую лабораторию». На основе такого подхода он предложил почти современное название новой науки — «астрономической физики» и определил

¹⁰⁴ Материалы для истории Имп. Академии наук: В 10 т. СПб., 1885. Т. 1. С. 629.

¹⁰⁵ Euler L. Recherches physiques sur la cause de la queue des comètes, de la lumière boréale, et de la lumière zodiacale // Mémoires de l'Académie roy. sci. et belles-lettres. Berlin, 1748. V. 2. P. 117—140.

ее цели и задачи. Ломоносов писал: «Астрономическо-физические наблюдения неподвижных звезд и наших планет со спутниками при помощи труб с максимально возможным увеличением полезны тем, что важные явления, которые в течение многих веков не случаются на нашем Солнце и нашей Земле, могут происходить и наблюдаться на многих светилах».¹⁰⁶ Это понимание астрофизики, ее целей и задач, сформулированное Ломоносовым в 1762—1763 гг. почти в точности совпадает с современными представлениями о науке, получившей сегодня всестороннее развитие. Слова Ломоносова были написаны почти в то же время, когда Л. Эйлер отправлял свои «письма-лекции» немецким принцессам.

Итак, петербургские ученые первой половины XVIII в. имели уникальную в то время возможность успешно работать буквально во всех отраслях естествознания и сразу же сообщать о своих исследованиях широкой публике. Их мировоззрение и философские взгляды складывались под влиянием научной работы в области естествознания и идей раннего русского Просвещения первой половины XVIII в. Большое значение для формирования этих идей имела и стажировка в обсерватории. Без освоения составленной Ж. Н. Делилем программы подготовки научных кадров к самостоятельным наблюдениям никто не допускался. В программу входило изучение литературы по специальному списку, включавшему около 500 названий, и выполнение ряда практических заданий по проведению астрономических наблюдений и вычислений.¹⁰⁷

Ядром делилевской программы подготовки научных кадров в России стала аналогичная программа, составленная ученым еще в Париже для Королевского (ныне Французского) коллежа, где в 1718 г. он занял кафедру математики. Это привилегированное учебное заведение Франции, прозванное «рассадником безбожников», строило преподавание на весьма прогрессивных идеях, близких к раннему французскому Просвещению. Теология была совершенно исключена из его программы. Сравнение списка книг Делиля с опубликованным В. Н. Кузнецовым списком «теоретических источников и оснований раннего французского материализма XVIII в.»¹⁰⁸ убеждает в их полной тождественности. Так, например, в шесть пунктов, выделенных В. Н. Кузнецовым, входили:

- 1) воззрения М. Монтеня;
- 2) «Физика» Декарта и «Разговоры о множественности миров» Б. Фонтенеля;
- 3) критика метафизики, а затем и всего учения Декарта с позиций французского астронома и философа-материалиста П. Гассенди;
- 4) учение Б. Спинозы, Г. В. Лейбница и Н. Мальбранша и их критика;
- 5) сенсуализм Дж. Локка;

¹⁰⁶ Ломоносов М. В. Химические и оптические записки // Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. Т. 4. С. 429.

¹⁰⁷ Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. С. 28—46.

¹⁰⁸ Кузнецов В. Н. Французский материализм XVIII в. М., 1981. С. 9—24.

6) важнейшей опорой французского материализма XVIII в. было естествознание.

Именно 1718 годом, когда Делиль составлял свою программу для Королевского коллежа, В. Н. Кузнецов «с известной степенью приближительности» датировал и начало раннего французского Просвещения.¹⁰⁹ Таким образом, делилевскую программу подготовки научных кадров можно считать ровесницей раннего французского Просвещения. Под влиянием его идей в Петербурге складывалось и раннее русское Просвещение, идеи которого так умело пропагандировали «Санкт-Петербургские ведомости» и «Примечания» к ним.

Не надо, однако, думать, что это было легким делом. Ведь в России тогда еще нельзя было высказаться в защиту учения Н. Коперника, чтобы тут же не попасть в «безбожники». Ретрограды яростно боролись против распространения научных знаний и вообще против всего «иноземного» и «иноверного». Даже авторитета Петра I здесь было порой недостаточно. Полное понимание петербургские ученые встретили со стороны архиепископа Новгородского Феофана Прокоповича, человека европейской образованности. Близкий сподвижник Петра I, назначенный им фактическим главой Синода, он был постоянным защитником Академии. Феофан Прокопович взял на себя также обязанности единственного и всегда доброжелательного цензора всех академических изданий.

Только благодаря его поддержке и защите удалось напечатать в «Примечаниях» все то, о чем говорилось выше. Там публиковались не только «вольнодумные» естественнаучные материалы, но также и антиклерикальные, а порой и атеистические. А однажды появилась статья, содержавшая утверждение о том, что республиканский способ правления гораздо лучше монархического (это в крепостнической-то России XVIII в.!). Статья носила невинное название «О генеральном съезде Швейцарских кантонов» (1729, ч. 66). Автором ее, вероятно, был Л. Эйлер, швейцарец по происхождению, который в своей переписке нередко высказывался в том же духе.

Однако после смерти Феофана Прокоповича (в сентябре 1736 г.) к власти в Синоде пришли враги петровских преобразований. Церковная реакция сопровождалась и политической, наступившей в последние годы царствования Анны Иоанновны. В такой обстановке ретрограды добились «показательного суда» над вольнодумцем. Жертвой стал капитан-лейтенант флота Александр Возницын, некогда проходивший стажировку в Петербургской обсерватории. Его не спасло ни происхождение, ни богатство, ни высокое положение в обществе (он происходил из старинного боярского рода, приходился племянником видному петровскому дипломату П. Б. Возницыну). А. Возницына обвинили в том, что он усомнился в божественном происхождении Христа, которого считал человеком. К тому же, «начитавшись Библии» и выяснив, что христианская догматика ведет свое происхождение от иудаизма, он сменил

¹⁰⁹ Там же. С. 24.

православное вероисповедание на то, которое было ближе к первоисточнику. Весной 1738 г. в Петербурге (на Сытном рынке) мятежный вольнодумец был сожжен.¹¹⁰

Трагическая гибель Возницына потрясла всех, особенно сотрудников петербургской Академии наук. Общая реакция на эти события выражена в девятой сатире А. Д. Кантемира «На состояние сего света. К Солнцу».¹¹¹ Она пронизана негодованием против суеверных невежд, твердящих о вреде науки и просвещения, о том, что чтение Библии (которым увлекались все петербургские ученые) ведет к безбожию, порицавших бритье бороды, ношение париков и «немецкого платья» и вообще категорически отвергавших всякое общение с иноверцами. Именно в уста такого персонажа были вложены следующие слова:

Ой, нет, надо Библии отбегать как можно,
 Бо зачитавшись в ней, пропадешь безбожно...
 Вон де за то одного и сожгли недавно,
 Что зачитавшись там, стал Христа хулить явно.¹¹²

После этих событий все антиклерикальные и «вольнодумные» публикации в академических изданиях пришлось прекратить.

«Примечания», не выходившие с сентября 1736 г. (сразу после смерти Феофана Прокоповича), с 1738 г. возобновились. Однако теперь здесь печатались только естественнаучные статьи, да и те приказано было подписывать как авторам, так и переводчикам, дабы знать, кто несет за них ответственность! Обстановка в Петербурге резко изменилась к худшему, и многие иностранные ученые под разными предлогами стали покидать Россию, а русские — Петербург. В 1741 г. уехал в Берлин и Эйлер. В 1742 г. издание «Примечаний» окончательно прекратилось.

Однако петербургские ученые, как русские, так и иностранцы, на всю жизнь сохранили преданность науке и идеям Просвещения. Правда, открыто защищать подобные взгляды было небезопасно. Это мог себе позволить лишь Д. Бернулли, независимый и хорошо обеспеченный житель Базеля. Ослепший и одинокий Ж. Н. Делиль, живший на старости лет в одном из церковных приютов Парижа, не смел проявлять и тени вольнодумства. Г. Ф. Миллер, приняв русское подданство и став важным московским чиновником, неоднократно, но безуспешно пытался переиздать «Примечания».¹¹³ Незадолго до

¹¹⁰ Полн. собр. законов Российской империи (1649—1825): В 46 т. СПб., 1830. Т. 10. С. 556—560.

¹¹¹ Кантемир А. Д. На состояние сего света. К Солнцу // Кантемир А. Д. Собр. стихотворений. Л., 1956. С. 181—186.

¹¹² Там же. С. 182. — В последнее время ставят под сомнение авторство А. Д. Кантемира. Предполагается, что девятая сатира была написана кем-то из академических кругов. Если и так, то и этот автор вполне был в курсе всех событий!

¹¹³ М. В. Ломоносову удалось в 1755 г. добиться возобновления издания академического журнала, правда, под другим названием. Однако ни по научному уровню, ни по популярности он не мог сравниться с «Примечаниями».

смерти он сдал в Архив все свои бумаги. Среди них оказался и бережно сохранный Миллером антирелигиозный памфлет Н. Фрере «Письмо Тразибулла Лейкиппу» — источник многих статей для «Примечаний».¹¹⁴

Л. Эйлер и остальные его коллеги по Петербургской Академии, верные всем другим идеалам своей юности, изменили лишь отношение к религии. Если в 1726—1736 гг. они были (или старались казаться) антиклерикалами и почти атеистами, то после 1736 г. стали примерными прихожанами и защитниками религии. Такая ломка взглядов В. К. Тредиаковского и А. Д. Кантемира отмечалась исследователями их творчества.¹¹⁵ То же произошло и с Эйлером. Обремененный многочисленным семейством, которое целиком зависело от его жалованья, он вынужден был считаться с обстоятельствами. Вот почему петербургский «безбожник» и «вольнодумец» в Берлине сам стал «защитником религии от вольнодумцев». В 1747 г. он опубликовал сочинение под названием: «Спасение божественного откровения от возражений вольнодумцев».¹¹⁶ Выяснилось также, что Эйлер играл видную роль во французско-реформатской и гугенотской церковных общинах Берлина. С 1763 г., став старейшиной общины Фридрихсштадта (часть Берлина на левом берегу Шпрее), он приобрел значительное влияние на раздачу церковных должностей и решение других вопросов церковного управления.¹¹⁷ Все эти настроения не могли не найти отражения и в «Письмах к немецкой принцессе».

Как произошло такое изменение взглядов Эйлера, и насколько оно было искренним? В «Письмах» нередко встречаются выпады против «вольнодумцев». Однако, за редкими исключениями, раздражение автора было продиктовано его личной неприязнью к французам, жившим при дворе Фридриха II. В разные годы там побывали Ж. О. Ламетри (1709—1751), Ж. Л. Д'Аламбер (1717—1783), Ф. М. А. Вольтер (1694—1778), П. Л. М. Мопертюи (1698—1759) и многие другие представители французского Просвещения. Из них только с Мопертюи Эйлер всегда сохранял дружеские отношения. Его раздражал образ жизни французов, резко отличавшийся от того, к чему он привык. Раздражали их порой безапелляционные и весьма поверхностные суждения по поводу естественнонаучных вопросов, с которыми они, как правило, были малознакомы. К тому же Эйлера глубоко задевало то обстоятельство, что, поручив ему фактическое руководство Берлинской Академией, президентами ее король всегда назначал галантных французов, по научным заслугам намного уступавших Эйлеру.

¹¹⁴ Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. С. 192.

¹¹⁵ Тредиаковский В. К. Избранные произведения. С. 5—52 (предисловие).

¹¹⁶ Euler L. Rettung der Göttlichen Offenbarung gegen die Einwürfe der Freygeister. Berlin, 1747.

¹¹⁷ Бирман К. Р. Был ли Леонард Эйлер изгнан из Берлина И. Г. Ламбертом? // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. С. 95.

Однако несмотря на всю свою неприязнь к французскому образу жизни, ученый в основном оставался единомышленником французских просветителей. В своих «Письмах» он лишь немного исправлял и дополнял их с «петербургской точки зрения». Какова же была эта точка зрения? Мировоззрение и философские взгляды петербургских ученых сформировались под влиянием двух факторов: научных исследований в разных областях естествознания и идей раннего русского Просвещения. Наиболее полно все эти взгляды изложил Л. Эйлер в «Письмах к немецкой принцессе». Однако буквально то же можно найти и в «Письмах о природе и человеке» (1742) А. Д. Кантемира,¹¹⁸ в «Феооптии» (1750—1754) В. К. Тредиаковского,¹¹⁹ в «Письмовнике» (1769) младшего представителя петербургской астрономической школы XVIII в. Н. Г. Курганова (1726—1796)¹²⁰ и, наконец, в парижских рукописях Ж. Н. Делиля.¹²¹ Что же представляли собой философские взгляды петербургских ученых? Как и все естествоиспытатели, в своей профессиональной деятельности они оставались стихийными материалистами, хотя, строго говоря, были деистами. Следуя Пьеру Гассенди, они допускали существование в мире не только материальных, но и духовных сущностей. Первые представлялись им протяженными, непроницаемыми и инертными, вторые — неделимыми, неуничтожными и активными. Досконально изучив природу в самых разных ее проявлениях, они представляли себе Вселенную прекрасной и совершенной как в большом, так и в малом — от гигантских звездных систем до крохотного муравья. Они не допускали и мысли, что возникновение такого мира — всего лишь игра случая. По их мнению, эта Вселенная должна быть творением Существа, наделенного Высшим Разумом и Совершенствами, т. е. Бога.

Предполагалось, однако, что, создав наш мир и дав людям заветы о том, как лучше себя вести, чтобы стать счастливыми, Бог больше не вмешивается в дела мира. А поскольку души людей свободны в своем выборе между добром и злом, то люди часто поступали не лучшим образом. Вот почему человеческое общество со временем утратило все совершенства, которыми первоначально наделил его Бог. Для того чтобы вернуть утраченное, по мнению петербургских ученых, необходимо было просветить души и разум людей, воспитать их добродетельными и трудолюбивыми. При этом следовало действовать только убеждением, а не принуждением, поскольку душа не терпит никакого насилия. Свою задачу петербургские ученые видели в получении и распространении истинных знаний о природе и человеке. Тех же, кто мешал просвещению народа, обманывал его, следовало беспощадно разоблачать. Понятно, что

¹¹⁸ Кантемир А. Д. Письма о природе и человеке // Кантемир А. Д. Соч., письма и избр. переводы. СПб., 1868. С. 21—96.

¹¹⁹ Тредиаковский В. К. Феооптия. С. 196—322.

¹²⁰ [Курганов] Н. [Г.] Книга письмовник, а в ней наука Российского языка с семью присокуплениями разных учебных и полезнотраважных вещесловий. 2-е изд. СПб., 1772.

¹²¹ Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. С. 161—167.

Эйлер и его коллеги были противниками крепостного права и мечтали о создании справедливого общества, где будут царить всеобщее благоденствие, свобода, равенство и братство.

Понятие о личной свободе человека воспринималось ими прежде всего как свобода мысли и желания, разума и души (их понятия очень часто отождествлялись). Вот как писал об этом Эйлер: «Свобода — свойство, настолько присущее всякому одушевленному существу, что сам Бог не может его у него отнять, точно так же, как он не может лишить тело протяженности или инерции, не разрушив или не уничтожив его целиком. Итак, лишить разум или душу свободы — то же самое, что их убить».¹²² А вот что — у В. К. Тредиаковского:

В прибавок есть в уме и навик и свободность.
Последня — действ и та ж суждения угодность,
Без принуждений всех изнутри и то ж извне,
Но точно вольно так, как вижу любо мне.
Неразлична одна свобода в нас зовется,
Котора к сей и к той равно стране несется.¹²³

Идеал счастливой жизни для петербургских ученых был близок к общехристианскому, однако они дополняли его стремлением к знанию, так как жизнь без науки была для них немыслима. Вот как представлял себе этот идеал Н. Г. Курганов:

Богатство, честь и власть приятны только тем,
Что даются за все, иль гордо жизнь весть тщаяся.
Но знания наук дают премудрость всем,
И шасливы лишь те, что ими богатыся.¹²⁴

Примерно то же — у Эйлера: «Все согласны с тем, что истинное блаженство заключается в покое и душевном удовлетворении, которое почти никогда не сопровождается блестящим общественным положением».¹²⁵ И далее он привел свое представление о «рае для ученых», ожидавшем их после смерти: «Способности нашей души и наши знания достигнут тогда, без сомнения, самой высокой степени совершенства... Именно там не только наш разум обретет самые совершенные знания, но и мы также... сможем снискать милость Всевышнего и удостоиться величайшего дара его любви».¹²⁶ Следует отметить, что, по мнению петербургских ученых, каждый человек должен был сам добиться своего счастья, а не ждать его от Бога. Ведь если разум и душа человека

¹²² Euler L. *Lettres à une princesse d'Allemagne...* SPb., 1768. Т. 2. Lettre 91. P. 46—47. Перевод Н. И. Невской.

¹²³ Тредиаковский В. К. Феоптия. С. 283.

¹²⁴ К[урганов] Н. [Г.] Письмовник... СПб., 1777. С. 403.

¹²⁵ Euler L. *Lettres à une princesse d'Allemagne...* Т. 2. Lettre 92. P. 157. Перевод Н. И. Невской.

¹²⁶ Ibid. Перевод Н. И. Невской.

свободны, то Бог даже насильно не может сделать его счастливым. Здесь они явно вступали в противоречие с официальной христианской догматикой, осудившей такие взгляды как еретические. Тем не менее петербургские ученые от своего мнения не отказались.

Ряд особенностей именно «петербургского» подхода к анализу окружающего мира был связан с тем, что только в Петербургской Академии наук в то время можно было проводить комплексное изучение живой природы. Начало этим исследованиям положил местный анатом И. Г. Дювернуа, установивший в 1728 г. родство слонов с мамонтами.¹²⁷ Открытие Дювернуа привело к выводу, что виды животных со временем изменяются, приспосабливаясь весьма совершенно к тем условиям, в которых им приходится жить. Таким образом, петербургские ученые в XVIII в. обсуждали идеи, близкие к тем, что привели Ч. Дарвина к его теории о происхождении видов животных. Проводившееся в Петербурге изучение препаратов глаз животных и человека вело к выводу о том, что в природе идет развитие органов чувств, которые совершенствуются, все более и более приспосабливаясь к среде обитания. К тому же сравнение разных органов чувств животных и человека показало, что непроходимой пропасти между человеком и животными в природе нет.

Вот почему петербургские ученые дружно отвергли представления Р. Декарта и О. Ж. Ламерти о «животном-машине» или «человеке-машине». Это же заставило их наделять животных душой и разумом, хотя и не столь совершенными, как у человека. Такие представления, противоречащие христианской догматике, помешали В. К. Тредиаковскому опубликовать свою «Феоптию». Эйлеру удалось напечатать подобные представления в своих «Письмах».

И, наконец, следует обратить внимание на весьма остроумную поправку, внесенную Эйлером в ньютоновское представление о Вселенной. Эта поправка также была связана с биологическими исследованиями петербургских ученых. Как известно, описанную в «Началах» Ньютона картину Вселенной неоднократно сравнивали с часовым механизмом, где все заранее строго детерминировано и всякие случайности совершенно исключены. Петербургские ученые, много времени уделявшие изучению живой природы, самой совершенной в мире, не могли согласиться со столь обедненной схемой Вселенной. Вот как предлагал дополнить ее Эйлер:

«Если бы мир состоял только из тел, и если бы все изменения, в нем происходящие, были необходимым следствием законов движения, соответствующим силам взаимодействия тел, то все события стали бы необходимыми и зависели бы от первоначального порядка, установленного Создателем в мире тел... В этом случае мир стал бы, бесспорно, настоящим механизмом, подобным часам...».¹²⁸ И далее: «Но стоит лишь допустить, что души людей и жи-

¹²⁷ Протоколы заседаний конференции Имп. Академии наук с 1725 по 1803 год. СПб., 1897. Т. I. С. 19.

¹²⁸ Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... Т. 2. Lettre 87. Р. 29. Перевод Н. И. Невской.

вотных имеют некоторую власть над своими телами, чтобы совершать в них движения, которые одно лишь телосложение не могло бы произвести, как система мира больше не будет простой машиной, а все события уже не будут происходить там с необходимостью, как в предыдущем случае. Мир наполнится событиями двоякого рода. Одни, на которые духи не оказывают никакого влияния, будут телесными, или зависящими от мирового механизма, как например движения и небесные явления, происходящие с такой же необходимостью, как и движение часов, и зависящее исключительно от первоначального устройства мира. Другие, которые зависят от души людей и животных, связанной с их телами, не будут больше необходимыми, как предыдущие, а станут зависеть от свободы, как и от воли этих одухотворенных существ. Эти два рода событий отличают мир от простой машины и возвышают его до уровня, гораздо более достойного Всемогущего Творца, который его создал».¹²⁹ Таким образом, в слишком строго детерминированный мир Ньютона был внесен элемент случайности, которого там так не хватало. И составленная на основе естествознания XVIII в. картина мира стала гораздо ближе к реальности.

Все эти размышления, исходившие из исследований петербургских ученых, привели Эйлера к заключению об особой роли, которую должны играть живые и разумные существа во Вселенной. Пересмотрев традиционный для Петербурга вопрос о множественности обитаемых миров, ученый по существу пришел к антропному принципу, предложив считать человечество живой и разумной частью Космоса.¹³⁰ Теперь Эйлер с удивлением вспомнил хорошо знакомые ему по занятиям в Петербургской обсерватории слова И. Кеплера, с которыми в годы своей юности он не мог согласиться. Как известно, в «Космографической тайне» Кеплера (входившей в список Де-лиля) говорилось о том, что Бог создавал столь прекрасную Вселенную для того, чтобы человек мог ею полюбоваться и по достоинству оценить Его творение.¹³¹

Кстати, Кеплер воспользовался здесь известными словами из Библии. Когда-то в «Примечаниях на „Ведомости“» Эйлер едко высмеивал идею о том, будто весь мир был сотворен для человека. Теперь же, в «Письмах к немецкой принцессе», он сам повторил их почти дословно: «...к чему создавать этот материальный мир, наполненный величайшими чудесами, если бы не было разумных существ, способных им подивиться?».¹³²

Взгляды Эйлера и его петербургских коллег на строение Вселенной, место и роль в ней человека, на его предназначение, представление о

¹²⁹ Ibid. Lettre. P. 31. Перевод Н. И. Невской.

¹³⁰ Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... T. 1. Lettre 60. P. 235—236. — Таким образом, Эйлер предвосхитил понятие «ноосферы» В. И. Вернадского, но у Эйлера оно было гораздо более широким, так как охватывало не только Землю, но и весь Космос.

¹³¹ Kepler J. *Mysterium Cosmographicum* // *Gesammelte Werke*. München, 1938. S. 8.

¹³² Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne... T. 2. Lettre 90. P. 45—46. Перевод Н. И. Невской.

счастье, добре и зле оказались удивительно похожими. Сходство еще больше возрастет, если обратиться к тому кругу проблем, которому Эйлер уделял особое внимание в философских разделах своих «Писем». Они занимают почти весь второй том (132 письма из 154)! Центральное место там отведено вопросам гносеологии и логики. Эйлер детально, шаг за шагом, проследил весь процесс получения человеком информации о внешнем мире. Тщательно проанализировал он пути и методы познания, возможные ошибки каждого и способы их исключения.

Рассмотрел он также и основы формальной логики (письма 102—105), т. е. науки о законах и формах мышления, помогающей, как он считал, правильно рассуждать и делать верные умозаклучения. Эйлер не ограничивался положениями Аристотелевой логики, но несколько дополнил их. Эти дополнения напоминают порой отдельные идеи Г. В. Лейбница из серии его работ по логике.¹³³ Написанные в 1679—1690 гг., при жизни Лейбница они не публиковались. Однако кое-что могло попасть в переписку его с И. Бернулли (1667—1748), которая была подарена Эйлеру.¹³⁴ Упоминание о работах Лейбница по логике могло попасть и в его переписку с Х. Вольфом, которая в 1757 г. готовилась к изданию в Лейпциге.¹³⁵ И наконец, что-то могло быть сообщено Эйлеру его постоянным корреспондентом, известным математиком И. А. Сегнером (1704—1777), изобретателем «Сегнерова колеса», на основе которого были построены турбины. Сегнер читал курс логики в университете и написал учебник. Интересовался он и материалами Лейбница.¹³⁶ В письме от 8 января 1743 г. Сегнер писал Эйлеру о логических выводах Лейбница и введенных Эйлером так называемых кругах Эйлера: «Ваши мысли о логических выводах так обоснованы, так естественны и так просты, что я не могу припомнить, чтобы я за долгое время читал что-либо со столь же большим удовольствием, и поэтому я часто перечитывал их и всегда находил все новые красоты и новые достоинства. Прошу Вас покорно не скрывать их от публики. Они конечно принесут большую пользу. Ошибки вольфианской логики тем более досадны, чем больше она входит в употребление...

При чтении Ваших прекрасных Логических размышлений мне пришло на ум, что когда A обозначает какую-нибудь конечную универсальную идею, например треугольник, то плоскость, в которой лежит фигура A , не ограничена, она будет обозначать бесконечную идею A или не треугольник. Отсюда следует конверсия универсального утверждения: если всякое A есть B , причем некое B есть не A , а некое не A есть B , то всякое не B есть не A . Я чем дальше, тем больше пленяюсь этими идеями».

¹³³ Лейбниц Г. В. Соч.: В 4 т. М., 1984. Т. 3. С. 538—655.

¹³⁴ Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель. С. 42, № 188.

¹³⁵ Там же. С. 237—238, № 1979.

¹³⁶ ПФА РАН, ф. 136, оп. 2, № 1, л. 222—225 об.

В письме от 25 марта 1743 г. Сегнер вновь вспомнил о кругах Эйлера: «По случаю болезни г. Галлера у нас был королевский лейб-медик г. Верльхоф, необычайно великий и живой ум {...}. Ему я тоже сообщил Ваши рассуждения. Он также признался мне, что от всего сердца смеялся над этим, но конечно не из неуважения, а от зрелища неожиданной красоты. То, что господа вольфианцы смеются по другой причине, неудивительно».¹³⁷

В «Письмах» были впервые введены так называемые «круги Эйлера» (см. письмо 102). Метод графического изображения понятий, как известно, от случая к случаю использовали еще античные авторы. Похожие чертежи иногда употреблял и Лейбниц, особенно в работе «Опыт абстрактных доказательств».¹³⁸ Однако Эйлер ввел эти чертежи в систему, очень четкую и последовательную. Такое, казалось бы, простое нововведение настолько облегчило рассуждения, что произвело подлинную революцию в формальной логике. Круги Эйлера прочно вошли в науку. С тех пор без них не обходится ни одно сочинение, ни одна лекция по логике.

Большое внимание в своих «Письмах к немецкой принцессе» Эйлер уделял вопросу о достоверности наших знаний, о той важной роли, которую должна играть наука в человеческом обществе. При обсуждении этих вопросов был дан критический обзор взглядов представителей разных философских школ и направлений. «Письма», как отмечалось выше, пользовались большой популярностью (в том числе и при жизни автора) и неоднократно переиздавались. Однако главное внимание читателей привлекали прежде всего физические разделы, так как Эйлер прославился как один из основоположников современного естествознания, умело решавший различные проблемы естествознания с помощью математических методов. На философские разделы обращали гораздо меньше внимания. Этому в значительной мере способствовала резко отрицательная реакция современников ученого, больно задетых его критикой. А поскольку он имел обыкновение критиковать буквально всех философов XVIII в., то и против него дружно выступили представители всех философских школ и направлений.

Особенно резок был Х. Вольф (1679—1754), считавшийся крупнейшим философом своего времени. Он прямо заявлял о том, что, не довольствуясь славой математика, Эйлер претендует на господство во всех науках, не имея на то достаточных оснований. Вольфа поддержали Ф. М. А. Вольтер (1694—1778), Ж. Л. Д'Аламбер (1717—1783) и другие французские и немецкие философы и ученые. Так начала складываться традиция высоко оценивать физические разделы «Писем к немецкой принцессе» и недооценивать философские. Вот почему обсуждению физических разделов «Писем» посвящены многие тома работ, тогда как философским проблемам — всего около десятка, да и то в основном небольших статей или предисловий к различным из-

¹³⁷ Там же, л. 234—237 об. Перевод Е. П. Ожиговой.

¹³⁸ Лейбниц Г. В. Соч. Т. 3. С. 641—655.

даниям.¹³⁹ Такое отношение представляется нам неоправданным и нуждающимся в пересмотре. Ведь сам Эйлер уделял философским вопросам большое внимание и отвел им почти треть объема всех «Писем».

Что же заставило его это сделать? И что побудило взяться за перо А. Д. Кантемира, В. К. Тредиаковского, Н. Г. Курганова? Притом каждый действовал по собственному почину, не зная о работах других. По-видимому, во всех случаях причина была одна и та же. Они просто не могли молчать, глядя на то, как завоевывали все большее влияние в обществе скептицизм, множились разнообразные философские течения, отрицавшие реальность окружающего мира, сомневавшиеся в возможности его познания, не верившие в науку, которую они считали неспособной открывать истинные законы реального мира, а потому и не нужной обществу. Эйлер и его бывшие коллеги, теперь уже покинувшие Петербургскую Академию наук, были оскорблены в своих самых лучших чувствах. Они решили вступить за науку, уж они-то на собственном опыте убедились, что она может очень многое, а потому и привыкли относиться к ней с уважением.

Центральным моментом в защите науки была необходимость доказать реальность окружающего мира и возможность человека с помощью своих органов чувств и разума получить о нем адекватное представление. В реальности мира были убеждены все петербургские ученые, воспитанные на трудах материалиста П. Гассенди. Тредиаковский даже не счел нужным доказывать столь очевидную истину. Однако Эйлер, повседневно сталкивавшийся в Берлине с учеными и философами, отрицавшими реальность мира или подвергавшими ее сомнению, вынужден был подробно остановиться на доказательствах: «Первоначальные идеи приходят к нам, без сомнения, от реальных объектов, которые поразили наши чувства... Эти чувства не только воспроизводят в душе представления о данном объекте, но еще и убеждают ее в его существовании вне нас».¹⁴⁰

Причина такой убежденности казалась Эйлеру таинственной, он надеялся, что ее раскроет лишь наука будущего. Однако он и сам попытался в этом разобраться. Ему удалось понять, что она присуща не только человеку, но и всем животным, значит, она лежит в основе самой системы взаимодействия органов чувств человека и животных с окружающим миром: «Эта убежденность в существовании предметов, изображения которых представляют нам чувства, обнаруживается не только у всех людей любого возраста и звания, но также

¹³⁹ Hoppe E. Die Philosophie Leonhard Eulers. Gotha, 1904; Speiser A. 1) Leonhard Euler und die Deutsche Philosophie // Aulavortrag 22. Februar 1934. Zürich, 1934. P. 1—16; 2) Einleitung zu den Lettres à une Princesse d'Allemagne // Leonhardi Euleri Opera Omnia. Turici, 1960. T. 1. Sér. 3. S. VII—XXXIII (философские разделы см. с. XIV—XXIX); Breidert W. Leonhard Euler und die Philosophie // Leonhard Euler: Beiträge zu Leben und Werk. S. 447—457; Kröber G. Einleitung // Euler L. Briefe an eine deutsche Prinzessin (Philosophische Auswahl). Leipzig, 1983. S. 5—27.

¹⁴⁰ Euler L. Lettres à une princesse... T. 2. Lettre 91. P. 144. Перевод Н. И. Невской.

и у всех животных... Отсюда я заключаю, что эта убежденность по существу связана с нашими чувствами и что истины, открываемые нам чувствами, так же хорошо обоснованы, как и самые достоверные истины геометрии».¹⁴¹

Детально анализируя разные случаи с людьми и животными, доказывающие возникновение уверенности в реальности мира, он понял, что это — следствие длительного индивидуального или коллективного опыта. Практика — верный критерий для проверки любой теории, это он знал хорошо! Итак, индивидуальная и общественная практика многих поколений выработала качество, без которого «...не могло бы существовать никакое человеческое общество... Если бы крестьянам вздумалось сомневаться в существовании своего бальи (государственного чиновника, сборщика налогов. — Н. Н.) или же солдатам — в существовании своих офицеров, то в какой бы беспорядок это нас повергло! ...Итак, признаём, что эта убежденность есть один из главных законов природы и мы в общем убеждены в этом, хотя совершенно не знаем истинных причин такого явления и весьма далеки от возможности объяснить их вразумительным образом».¹⁴²

Современная наука, занявшись изучением асимметрии полушарий мозга людей и животных, нашла ответ на поставленный Эйлером вопрос.¹⁴³ Выяснилось, что когда органы чувств воспроизводят в мозгу представления о данном объекте, то одновременно с познанием свойств этого объекта люди и животные получают и уверенность в его реальности. Происходит это потому, что изучение объекта каждое из двух полушарий мозга ведет самостоятельно, так что впечатления как бы «раздваиваются». Сперва возникает убежденность в реальности объекта. Это правое полушарие быстро создает общую картину объекта и «сверяет» ее со сложившейся ранее на основе предыдущего опыта картиной. Если они совпадают, то и возникает убежденность в реальности мира. Левое полушарие тем временем, «не торопясь», изучает свойства объекта. Затем оба полушария «обмениваются информацией», чтобы получить полное представление об изучаемом объекте. Любопытно, что ключевая роль в обмене информацией между полушариями принадлежит именно мозолистому телу, где, по мнению Эйлера, и должна была «действовать» душа!

После доказательства реальности мира Эйлер далее рассмотрел, как получаются представления о времени и пространстве. Это — абстракция свойств реальных тел. Время и пространство не могут существовать отдельно от тел, а следовательно, ньютоновские абсолютное время и абсолютно пустое пространство — не что иное, как абстракция. Все доступные человеку методы познания мира Эйлер разделил на три класса:

1) чувственный, экспериментальный, или физический;

¹⁴¹ Ibid. Lettre 117. P. 178—179. Перевод Н. И. Невской.

¹⁴² Ibid. Lettre 117. P. 179. Перевод Н. И. Невской.

¹⁴³ Бианки В. Л. 1) Асимметрия мозга животных. Л., 1985; 2) Механизмы парного мозга. Л., 1989.

2) логический, интеллектуальный, или демонстративный;

3) моральный, или исторический.

В рукописях Делиля указывались только два первых метода — потому что ими пользуются астрономы. Для них были очень важны наблюдения и лабораторный эксперимент в камере-обскуре, а также математическое доказательство. Многолетние историко-научные исследования петербургских ученых позволили Эйлеру добавить и третий метод — исторический. А обсуждая возможные ошибки, поиронизировать над своими друзьями: анатомом И. Г. Дювернуа (1691—1759), химиком и естествоиспытателем И. Г. Гмелиным (1709—1755) и историком Т. З. Байером (1694—1738) (конечно, не называя их фамилий). Если для первых было убедительно лишь то, что можно было проверить в эксперименте, то историк верил лишь тому, что засвидетельствовано каким-либо историческим документом. Именно так он пытался проверять даже математические теоремы!

Наиболее подробно остановился Эйлер на критике различных философских школ и направлений, обращая внимание своих учениц прежде всего на то, что ошибки философов мешают получить верную информацию об окружающем мире. К середине XVIII в. все большее влияние в обществе получил агностицизм. Начало этому направлению положило издание сочинений английского священника и философа Дж. Беркли (1684—1753): «Трактат о началах человеческого знания» (1710)¹⁴⁴ и «Три диалога между Гиласом и Филонусом» (1743).¹⁴⁵ Однако особую популярность агностицизм приобрел после издания трудов шотландского философа Д. Юма (1711—1776). Первые его работы о природе человека, его познании, политике и нравственности вышли в Лондоне анонимно в 30—40-е гг. XVIII в. В 1748—1752 гг. они были переизданы уже с указанием имени автора и тогда завоевали широкую популярность. Она особенно поднялась после 1763 г., когда Д. Юм был назначен секретарем английского посольства во Франции. В Париже он сблизился с французскими философами-материалистами и снискал их поддержку. Большое внимание привлекло его «Исследование о человеческом познании».¹⁴⁶ Юм подвергал сомнению достоверность полученных наукой знаний, отрицал познаваемость окружающего мира. За человеком он признавал лишь возможность утилитарно «приспособиться» к своим смутным идеям и впечатлениям.

Наряду со скептицизмом и агностицизмом Дж. Беркли и Д. Юм пропагандировали также идеи субъективного идеализма, по существу сводившего весь окружающий мир к смутному комплексу ощущений и идей и отрицавшему

¹⁴⁴ Беркли Дж. Трактат о началах человеческого знания... / Под ред. Н. Г. Дебольского. СПб., 1905.

¹⁴⁵ Беркли Дж. Три разговора между Гиласом и Филонусом // Беркли Дж. Соч. М., 1972. С. 249—360.

¹⁴⁶ Юм Д. Исследование о человеческом познании // Юм Д. Соч.: В 2 т. М., 1966. Т. 2. С. 5—169.

его реальность. Много сторонников было тогда и у объективного идеализма, особенно в Германии, где это философское направление еще держалось на огромном авторитете выдающегося ученого и мыслителя Г. В. Лейбница (1646—1716). Это направление также отрицало за наукой право изучения реального мира и его законов, так как оно отрицало и саму эту реальность.

Эйлер показал, что все названные выше философские направления возникли на основе действительно существующих трудностей в решении различных вопросов теории познания. Так, скептицизм и агностицизм — из-за недоверия к нашим органам чувств, которые нас иногда обманывают. Но раз у нас нет другого пути познания природы, то нельзя отказываться от того, что есть. Просто надо научиться исправлять ошибки. Над доведенным до абсурда субъективным идеализмом Дж. Беркли Эйлер просто издевался, назвав его «эгоизмом». Он поинтересовался у автора, твердо уверенного в том, что существует он сам и отрицавшего существование остальной Вселенной, а уверен ли он в существовании своей матери? Гораздо серьезнее отнесся Эйлер к анализу объективного идеализма. Его сторонники, как известно, отрицали существование всех материальных тел, которые они считали иллюзией, допуская лишь представления о них.

Эйлер признал, что последовательных объективных идеалистов очень трудно опровергнуть, и подробно описал их главный аргумент. Эти философы ссылались на сновидения, во время которых мы видим множество предметов, вовсе не существующих, но в душе у нас возникает убеждение в их реальности. Если это иллюзия, то чем отличается от нее реальность? На этот вопрос Эйлер не нашел ответа. Современные ученые отвечают на него так. Реальность отличается от сновидений тем, что во сне мы «видим» не реальные предметы, а лишь воспоминания о них. Уверенность в реальности сновидений — это следствие работы мозга, который может анализировать информацию только каждым полушарием в отдельности, объединяя затем все сведения в единой картине. В результате мы всегда получаем не только знание о предмете, но и уверенность (или сомнение) в его реальности.

Критика материализма XVIII в. у Эйлера и других петербургских ученых сводится к следующим четырем положениям:

- 1) материя не может мыслить;
- 2) мысли нельзя считать материальными;
- 3) душа не может состоять из материальных частиц, даже самых мелких и тонких;
- 4) животных, а тем более человека, нельзя считать ни простой, ни даже самой сложной машиной, раз они способны чувствовать и рассуждать, а человек — даже мыслить.

Связь между душой и телом животных и человека не могла возникнуть случайно. В крайнем случае это — результат длительного исторического развития.

Из приведенного перечня возражений Эйлера ясно, что он был не согласен не с материализмом как таковым, а с его упрощенной, вульгарной, механической

тической разновидностью. Эти же положения обсуждали А. Д. Кантемир и В. К. Тредиаковский и решали их точно так же, как Эйлер. Только по одному пункту их мнения разошлись. Так, Эйлер категорически отвергал возможность материи мыслить. Тредиаковский полагал, что материя мыслит не всегда:

Сама ль в нас мыслит плоть, иль разна с ней душа?
 Всяк нечестивый мысль ту присвоает телу,
 Не правый смысл в душе такому мнит быть делу...
 Хотя и положить, что телу мыслить можно,
 Однако при том сказать так надлежит неложно,
 Что мыслит не всегда конечно вещество...
 Возрим на камень мы иль на бугор песку,
 Хотя пребудем коль ни долго мы в иску́,
 Однако мы в камне том ниже в песке обрящем
 Ту нашим мысль трудом, ес ни тени срящем.¹⁴⁷

А вот мнение Кантемира по этому поводу: «Если материя и может думать, то надлежит сказать, что не вся, и что думает сегодня, не думала за пятьдесят лет... Надобно будет уверить, что материя получает мысль от некоторого учреждения и движения своих частей. Возьми камень или ком песку; сия материя не имеет мыслей...».¹⁴⁸

Выпады Эйлера против «вольнодумцев», столь частые в «Письмах», были обусловлены личной неприязнью, а не глубокими идейными расхождениями. Раздражение же Эйлера против Вольтера имело и вполне конкретную причину. Так, в 1750—1753 гг. Эйлер принял весьма активное участие в споре по поводу «принципа наименьшего действия». Член Берлинской Академии наук С. Кёниг (1712—1757), философ и математик из Гааги, готовивший издание трудов Лейбница, заявил в 1751 г., что автором принципа наименьшего действия является этот выдающийся мыслитель. В подтверждение своих слов Кёниг предъявил копию письма Лейбница. Однако президент Берлинской Академии П. Л. М. Мопертюи приписал себе авторство этого принципа, сформулированного им в весьма расплывчатой форме. Эйлер поддержал его и дал принципу наименьшего действия математически корректную формулировку, сохранившуюся и до сих пор. Под давлением Эйлера Берлинская Академия в 1752 г. объявила представленную Кёнигом копию письма Лейбница подделкой. Вольтер, и ранее недолголюбивавший Мопертюи, напечатал против него, Эйлера и Берлинской Академии в 1752 г. памфлет под названием «Спор доктора Акакии».¹⁴⁹ Правота Кёнига была доказана в 1913 г., когда нашли еще одну копию того же письма Лейбница.¹⁵⁰

¹⁴⁷ Тредиаковский В. К. Феоптия. С. 287.

¹⁴⁸ Кантемир А. Д. Письма о природе и человеке. С. 58.

¹⁴⁹ Voltaire F. M. A. Diatribe d'Akakia, médecin du Pape. Potsdam; Berlin, 1752.

¹⁵⁰ Gray К. Леонард Эйлер и Берлинская Академия наук // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. С. 88.

Хотя в споре о приоритете принципа наименьшего действия Эйлер был неправ, для его неприязни к Вольтеру было то основание, что Вольтер нередко позволял себе безапелляционные высказывания по поводу естественных наук, сам не будучи естествоиспытателем. С Д'Аламбером Эйлер переписывался, нередко и работал над одними и теми же проблемами. Однако Д'Аламберу недоставало глубины и эрудиции Эйлера, который неприязненно отзывался порой о легковесности суждений французского ученого. Но наиболее важным поводом для неприязни была предложенная Д'Аламбером система наук, в которой положение науки наук отводилось философии, а не естествознанию.

Самой резкой критике в «Письмах» Эйлера подверглось вольфианство, пользовавшееся весьма шумной популярностью, особенно в Германии, с 30-х и вплоть до 60-х гг. XVIII в. Это направление было основано учеником Г. В. Лейбница Х. Вольфом и постоянно развивалось его многочисленными последователями. Вольфианство пыталось эклектически объединить элементы материализма, некоторые открытия естествознания, но во главу угла ставило идеализм Лейбница. На словах вольфианцы призывали к изучению окружающего мира, на деле же превращали этот мир в иллюзию и химеру. Провозгласив философию наукой наук, вольфианцы оставляли за собой исключительное право выдумывать всевозможные «первоначала природы», которые они затем навязывали естествоиспытателям. Считая именно это учение в то время наиболее опасным для естествознания, Эйлер и обрушил на него всю силу своего ума и сарказма, отведя такой критике довольно много места.

Как почетный член Петербургской Академии наук Вольф и его труды были хорошо известны в России. Его знали лично Ж. Н. Делиль, Ф. Х. Майер (1697—1729), Г. В. Крафт и, конечно, любимый ученик Вольфа Г. Б. Бильфингер (1693—1750) (единственный петербургский картезианец!). В 1727 г., по пути из Швейцарии в Россию, с Вольфом в Марбурге встречался и беседовал Эйлер, передавший по его просьбе письмо Бильфингеру.¹⁵¹ Вольфа в Петербурге ценили как доброго человека и хорошего педагога, однако категорически отвергали его философскую систему. Программа подготовки научных кадров, составленная Делилем, предусматривала изучение и критику трудов Х. Вольфа. Это оказалось весьма кстати: никто из петербургских ученых XVIII в. не стал вольфианцем, даже те, кто, как М. В. Ломоносов, учился у него.

В 1728—1737 гг. вышел ряд сочинений немецкого философа, вызвавших резкие возражения петербургских ученых. Здесь прежде всего следует назвать статью «Начала динамики»,¹⁵² опубликованную в Петербурге. В 1729 г. вышла книга «Начала философии, или Онтология»,¹⁵³ в 1730 г. началось переиздание

¹⁵¹ Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель. С. 70, № 466.

¹⁵² Wolff Ch. Principia dynamica // Commentarii Acad. sci. Imp. Petropolitanae. Petropoli (1726), 1728. T. 1. P. 217—238.

¹⁵³ Wolff Ch. Philosophia prima sive Ontologia, methodo scientifica pertractata. Francofurt; Lipsiae, 1729.

первой работы Вольфа «Основы всеобщего познания».¹⁵⁴ В 1731 г. появилась «Общая космология, изложенная научным методом, открывающая путь к познанию Бога и природы».¹⁵⁵ И наконец, в 1736—1737 гг. — две части книги «Естественная история, изложенная научным методом».¹⁵⁶

В этих работах Вольф выстраивал всю систему наук — математику, механику, космологию и даже теологию — на основе разработанного им учения об «элементах», или монадах, введенных Г. В. Лейбницем. Вольф одним из первых на континенте Европы принял ньютоновскую «силу притяжения», физическая природа которой оставалась неизвестной. Петербургские ученые, хотя и были ньютонианцами, отказывались приписывать каждому физическому телу эту мистическую «силу». Они даже инерцию не называли силой, чтобы избежать обвинений в мистицизме. Вольф допускал, что тела постоянно должны изменять свое состояние даже без всяких внешних воздействий. Петербургские же ученые считали, что тела обладают главным образом свойством инертности, т. е. стремятся сохранять свое состояние неизменным до тех пор, пока какое-либо внешнее воздействие не выведет их из этого состояния.

По мере того как Д. Бернулли, Л. Эйлер, Ф. Х. Майер, Г. В. Крафт, а затем и другие петербургские ученые стали закладывать основы земной и небесной механики, их расхождение с различными положениями вольфианства росло. 2 февраля 1732 г. они решили выступить открыто, посвятив публичное собрание Академии вопросу о монадах. Как было принято, заседание проводилось в форме диспута. Основным докладчиком выступил химик И. Г. Гмелин (1709—1755). От имени Академии ему отвечал Л. Эйлер. Речь Гмелина «О происхождении и развитии химии и особенно о том, какую пользу она приносит в изучении металлов, и что можно заключить из химического исследования тел для раскрытия их начал» не сохранилась. Два варианта ответа Эйлера, составленных по найденным в архиве черновикам, были опубликованы Ю. Х. Копелевич и Н. М. Раскиным.¹⁵⁷

Эйлер начал свою речь с обсуждения вопроса о том, каковы «последние частицы всех тел», или «элементы». Подробно остановившись на огромном разнообразии микро-, макро- и мегамира, он пришел к заключению, что «в мельчайшем тельце может находиться столь же много разнообразных вещей, сколько во всей Вселенной».¹⁵⁸ Отметив, что такая неисчерпаемость, бесконечная делимость и разнообразие материи на разных уровнях заставляет естествоиспытателей с большой осторожностью подходить к априорным утвер-

¹⁵⁴ Wolff Ch. *Elementa matheseos universae*. 2 ed. Halle, 1730.

¹⁵⁵ Wolff Ch. *Cosmologia generalis methodo scientifica pertractata*. Francofurt; Lipsiae, 1730. Т. 1.

¹⁵⁶ Wolff Ch. *Theologia naturalis, methodo scientifica pertractata*. Francofurt; Lipsiae, 1736. Pars 1; 1737. Pars 2.

¹⁵⁷ Копелевич Ю. Х., Раскин Н. М. Речь Л. Эйлера о строении материи // Вопросы истории естествознания и техники. 1968. С. 41—44.

¹⁵⁸ Там же. С. 42.

ждениям философов о неделимости той или иной частицы, которая еще не изучена, Эйлер призвал не торопиться называть ее «элементом тел». По сравнению с подобными взглядами мнение Лейбница о том, что во всем мире нет двух совершенно одинаковых монад, конечно, ближе к истине. Однако и оно ничего не дает для конкретного изучения природы. В результате Эйлер пришел к заключению: «...для нас совершенно бесполезны размышления тех, которые пытаются от исследования элементов прийти к познанию природы вещей».¹⁵⁹ Таким образом, стало ясно, что философы должны брать свои «элементы» из экспериментов естествоиспытателей, а не придумывать их произвольно, а затем навязывать тем, кто изучает природу.

Материалы публичного собрания не были опубликованы скорее всего потому, что в Петербурге не было вольфианцев. Г. Б. Бильфингер, окончательно перессорившись с местными ньютонианцами, в 1730 г. покинул Россию. Однако мнения петербургских ученых о философии Х. Вольфа стали ему известны. Когда Эйлер появился в Берлине, Вольф встретил его настороженно и неприязненно. Застав в Берлине «разгул» вольфианства, Эйлер стал энергично действовать. В 1746 г. он опубликовал сразу три «антимонадистские» работы: брошюру (на немецком языке) «Размышление об элементах тел, в котором проверяется учение о строении простых вещей и монад и открывается истинная сущность тел», и две статьи — «Физические исследования о природе мельчайших частиц материи» (на французском языке) и «Обстоятельное изложение вопроса: можно ли свойства материи вывести из принципов механики с помощью размышления или нет?» (на латыни).¹⁶⁰

Затем по настоянию Эйлера Берлинская Академия наук объявила на 1747 г. конкурс о монадах, и ученый добился того, чтобы премирована была работа И. Г. Юсти (ум. в 1771 г.), юриста и философа из Зангерхаузена, который до основания ниспроверг всю систему монад.¹⁶¹ Несмотря на гнев Х. Вольфа и яростные нападки его сторонников (попортивших Эйлеру много крови),¹⁶² главная цель была достигнута. Вольфианству был нанесен весьма чувствительный удар. Его популярность пошла на убыль, и таким образом удалось освободить от влияния этого учения немало молодежи. Среди подобных молодых людей был и будущий знаменитый философ И. Кант (1724—1804). Ради этого можно было и потерпеть множество мелких уколов и неприязнь самых преданных последователей Х. Вольфа: профессора математики в Иохимстале

¹⁵⁹ Там же.

¹⁶⁰ Euler L. 1) Gedanken von den Elementen der Körper in welchen das Lehr-Gebäude von den einfaches Dingen und Monaden gesprühet... Berlin, 1746; 2) Recherches physiques sur la nature des moindres parties de la matière // Opuscula varii argumenti. Berolini, 1746. P. 287—300; 3) Enodatio questionis: Utrum materiae facultas cogitandi tribui possit nec ne? Ex principiis mechanicis petita // Opuscula varii argumenti. Berolini, 1746. P. 277—286.

¹⁶¹ Justi J. H. G. Nichtigkeit und Ungrund der Monaden. Halle, 1748.

¹⁶² Бирман К. Р. Был ли Леонард Эйлер изгнан из Берлина И. Г. Ламбертом? // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. С. 95; Эйлер Л. Письма к ученым. М.; Л., 1963. С. 16.

и директора отделения философии Берлинской Академии наук И. Г. Зульцера (1720—1779), профессора риторики в Базеле, члена Берлинской Академии наук И. Б. Мериана (1723—1807), ректора школы в Гёрлице Ф. Х. Баумейстера (1709—1785), немецких философов А. Г. Баумгартена (1714—1762) и Л. Ф. Тьюммига (1697—1798).

Зато любимый учитель И. Канта по Кёнигсбергскому университету М. Кнутцен (1713—1751), также первоначально ученик и последователь Х. Вольфа, стал единомышленником Л. Эйлера, как и И. Г. Сегнер. Это и неудивительно, так как Кнутцен был постоянным добровольным сотрудником петербургских ученых с давних пор. Так, уже с 1733 г. он вместе с Л. Эйлером и другими петербургскими астрономами решал поставленную Ж. Н. Делилем задачу о движении солнечных пятен.¹⁶³ В 1739 г. Кнутцен прислал в Петербург свою работу о теории магнетизма.¹⁶⁴ Он внимательно следил за деятельностью петербургских ученых и старался принять посильное участие во всех их наблюдениях и исследованиях. Нередко Кнутцен привлекал к ним и своих многочисленных учеников. Имя этого ученого неоднократно встречается в переписке Эйлера, охватывающей период 1741—1751 гг.¹⁶⁵

Благотворное влияние М. Кнутцена на И. Канта в годы учебы последнего в Кёнигсбергском университете (1740—1746) отмечали все биографы знаменитого философа. Вот, например, что писал Ю. Я. Баскин: «В эти годы Кант особенно интересовался естествознанием. Его любимым учителем был философ и математик, профессор Мартин Кнутцен... — блестящий лектор и педагог. Именно Кнутцен познакомил будущего философа с трудами Ньютона, в частности, с „Математическими началами натуральной философии“». ¹⁶⁶ Следует отметить, что Петербургскую Академию наук связывали тесные дружеские контакты с Кёнигсбергским университетом, этой «альма матер» многих петербургских ученых. Причем Кёнигсберг, как и другие приграничные с Россией города, по распоряжению Петра I получал все русские издания.¹⁶⁷ Таким образом, Кнутцен и его студенты могли регулярно читать все издания Петербургской Академии наук и использовать их на занятиях. Неудивительно, что и первая печатная работа Канта «Мысли об истинной оценке живых сил»,¹⁶⁸ опубликованная в 1746 г., была основана и на петербургских материалах, обсуждавшихся в первом томе «Комментариев».¹⁶⁹

¹⁶³ ПФА РАН, ф. 3, оп. 1, № 17, 18.

¹⁶⁴ Там же, № 1, л. 96—97.

¹⁶⁵ Леонард Эйлер: Переписка. Аннотированный указатель. С. 146—152; 115.

¹⁶⁶ Баскин Ю. Я. Кант. М., 1984. С. 6—7.

¹⁶⁷ ПФА РАН, ф. 3, оп. 1, № 77, л. 502—507.

¹⁶⁸ Кант И. Мысли об истинной оценке живых сил // Кант И. Соч.: В 6 т. М., 1963. Т. 1. С. 51—82.

¹⁶⁹ Hermann J. De mensura virium corporum // Commentarii Acad. sci. Imp. Petropolitanae. SPb., 1728. Т. 1. P. 1—42; Bülfinger G. B. De viribus corpori moto insitis et illarum mensura // Ibid. P. 87.

По-видимому, не было случайностью и то, что единственное сохранившееся письмо начинающего философа И. Канта к маститому математику Л. Эйлеру было послано вскоре после «антимонадного» конкурса, 23 августа 1749 г., вместе с первой его печатной статьей.¹⁷⁰ Почему же статья Канта, опубликованная в 1746 г., была послана Эйлеру три года спустя? Прежде всего, это можно считать признанием антивольтерианской позиции Эйлера. Кроме того, можно полагать, что именно за это время Кант подготовил другое, более важное сочинение, в котором использовались многочисленные петербургские публикации. Основания для такого предположения дают следующие слова из письма Канта к Эйлеру: «Я буду иметь честь прислать Вам краткое добавление к этой статье... где я дам необходимые объяснения и некоторые, также относящиеся сюда, мысли».¹⁷¹

О какой же работе шла здесь речь? Судя по некоторым данным, он имел в виду свою «Всеобщую естественную историю и теорию неба», впервые опубликованную в 1755 г. Как известно, первое издание фактически осталось неизвестным современникам философа, так как его издатель обанкротился и книги были опечатаны.¹⁷² Лишь второе издание 1791 г., исправленное по поручению Канта магистром Гензихеном, принесло немецкому философу мировую известность. Интересно отметить, что во второе издание по указанию Канта было внесено и следующее замечание: «Уже за шесть лет до этого (т. е. до 1755 г., а значит, в 1749 г. — Н. Н.) профессор Кант изложил свою точку зрения на Млечный путь как на систему движущихся солнц, аналогичную планетной системе; теперь Ламберт в своих „Космологических письмах об устройстве мироздания“, вышедших в свет лишь в 1761 г., высказал подобную же идею. Таким образом, за первым из них остается право владения вещью, которая никому еще не принадлежала».¹⁷³

О том, что космогоническая гипотеза Канта была разработана и написана им задолго до ее опубликования, говорилось и в представленном им на конкурс Берлинской Академии наук (объявленный по инициативе Эйлера) в 1752 г. сочинении о замедлении вращения Земли. Оно заканчивалось словами: «Я посвятил этому вопросу целый ряд исследований и объединил их в систему, которая в скором времени появится в свет под названием: „Космогония, или Попытка объяснить происхождение мироздания, образование небесных тел и причины их движения общими законами движения материи в соответствии с теорией Ньютона”».¹⁷⁴ Эйлер, по-видимому, не ответил на письмо молодого

¹⁷⁰ Кладт Т. Н., Раскин Н. М. И. Кант и Петербургская Академия наук : (По материалам архива Академии наук СССР) // Историко-астрономические исследования. М., 1956. Вып. 2. С. 369—373.

¹⁷¹ Там же. С. 372.

¹⁷² Кант И. Соч. Т. 1. С. 515.

¹⁷³ Там же. С. 516.

¹⁷⁴ Кант И. Исследование вопроса, претерпела ли Земля в своем вращении вокруг оси, благодаря которому происходит смена дня и ночи, некоторые изменения со времени своего возникновения // Кант И. Соч. Т. 1. С. 83—91.

философа, да и присланная им на конкурс 1752 г. работа не привлекла его внимания. Тем не менее Кант продолжал начатые исследования.¹⁷⁵ Тематика его естественнонаучных работ, написанных в первый, докритический период, убедительно свидетельствует о том, что он весьма широко использовал петербургские публикации, причем не только в «Комментариях», но и в «Примечаниях на „Ведомости“». В трудах немецкого философа нередко встречаются проблемы, занимавшие и петербургских астрономов. Да и защита ими ньютоновского учения оказала на него большое влияние. Впрочем, и сама идея о развитии природы могла быть заимствована Кантом именно из «Примечаний». В упомянутом выше цикле статей о мамонтах эта идея появилась значительно раньше, чем у Ж. Л. Бюффона, которому подсказал ее вернувшийся из Петербурга Ж. Н. Делиль.¹⁷⁶

Несмотря на то что «антимонадный» конкурс, как, впрочем, и другие естественнонаучные конкурсы, проводившиеся в Берлинской Академии наук по инициативе Эйлера, постепенно прибавляли ему сторонников, в 60-х гг. XVIII в. печатать «Письма к немецкой принцессе» в Германии было, пожалуй, невозможно, так как авторитет Х. Вольфа там оставался еще достаточно велик. В Петербурге же с радостью опубликовали книгу, выражавшую общее мнение всей здешней Академии.

Эйлер ответил в своих «Письмах» и на упрек о бесполезности науки, имеющей якобы дело лишь с абстрактными понятиями, не относящимися к реальному миру. Он писал: «...есть философы, и сегодня их даже большинство, которые высокомерно отрицают, что свойства, подходящие для протяженности вообще, т. е. так, как рассматривают их в геометрии, имеют место в реально существующих телах. Они говорят, что протяженность в геометрии есть абстрактная сущность свойств, из которой ничего нельзя заключить о реальных вещах. Итак, если я доказал, что три угла треугольника в сумме равны двум прямым углам, то это — свойство, подходящее лишь для абстрактного треугольника, но никоим образом не для реального».

Но эти философы не замечают неприятных следствий, естественно вытекающих из такого различия, которое они устанавливают между объектами, созданными путем абстрагирования, и реальными объектами. И если бы не разрешалось делать заключения от первых к последним, то никакое заключение и никакое рассуждение не могли бы более существовать, потому что мы всегда делаем заключение от общих понятий к частным.

А все общие понятия — такие же абстрактные сущности, как и геометрическая протяженность. И дерево вообще, где общее понятие деревьев образовано только с помощью абстрагирования, столь же мало существует вне нашего разума, как и геометрическая протяженность. Понятие человека вообще —

¹⁷⁵ Научная оценка одной из конкурсных работ И. Канта 1752 г. была дана акад. А. А. Михайловым (см.: Вопросы истории естествознания и техники. М., 1956. Вып. 2. С. 110—113).

¹⁷⁶ Buffon G. L. Histoire naturelle, générale et particulière. Paris, 1749. V. 1.

тот же самый случай. И человек вообще — нигде не существует. Все живые люди — существа индивидуальные и соответствуют единичным понятиям. Общая идея, включающая в себя все, создается только с помощью абстрагирования.

Упрек, который эти философы постоянно адресуют геометрам, будто те занимаются только абстрактными вещами, — совершенно неоснователен, потому что и все другие науки имеют дело главным образом с общими понятиями, не более реальными, чем объект геометрии. Больной вообще, которого имеет в виду врач, — идея, содержащая в себе всех реально существующих больных, — всего лишь абстрактная идея.

И достоинство каждой науки даже тем более велико, чем на более общие, т. е. на более абстрактные, понятия оно распространяется».¹⁷⁷

¹⁷⁷ *Euler L. Lettres à une princesse d'Allemagne...* Т. 2. Lettre 122. P. 200—202. Перевод Н. И. Невской.

ИЗДАНИЯ «ПИСЕМ К НЕМЕЦКОЙ ПРИНЦЕССЕ» И ИХ ОЦЕНКА

«Письма к немецкой принцессе» с самого своего появления в печати завоевали широкую популярность. Этому способствовали и имя автора, и доступность и живость изложения, и критический дух писем, содержавших резкие суждения о философских течениях, в первую очередь о вольфианцах. Письма были переведены на многие языки и многократно переиздавались.

Уже говорилось о том, что первое издание «Писем» вышло в Петербурге, сначала на французском, а затем на русском языке, причем первый том на обоих языках почти одновременно, в 1768 г. На титульном листе первого издания не стояло имени автора, хотя оно было всем хорошо известно. Вскоре французский текст первого тома перепечатали в Митаве и Лейпциге (1770), затем в Берне и Лондоне (1775). Первое парижское издание «Писем» было осуществлено в 1787—1789 гг. (3 тома).

Первый немецкий перевод «Писем» вышел в Лейпциге (1769), и вскоре за ним последовало новое издание (1773) и еще одно (1784), все в трех томах. В Лейдене в 1785 г. был издан голландский перевод «Писем». В Швеции книга вышла по-шведски в 1786 г. В Италии перевод на итальянский язык издал со своими дополнениями аббат Оронцо Карнавале (Неаполь, 1787). Датский перевод появился в Копенгагене в 1792 г.

Английский перевод с примечаниями и словарем иностранных слов и научных терминов издал в 1795 г. Г. Гантер.

В 1798 г. вышел перевод «Писем к немецкой принцессе» на испанский язык (т. I).

В дальнейшем выходили в свет как стереотипные издания первоначального текста, так и издания, содержавшие различные примечания, вводные статьи, дополнения, изменения, а также издания только тех писем, которые относились к физике, или только тех, которые были связаны с философией. Остановимся на некоторых изданиях «Писем».

Издание «Писем к немецкой принцессе», вышедшее в Лондоне в 1775 г., в точности повторяло петербургское французское издание 1768—1772 гг. Тот же размер книг in 8°, те же три тома, в конце которых были приложены таблицы с чертежами и рисунками. Изданы эти книги были Лондонским типографическим обществом. Предисловия не было, письма были опубликованы на французском языке.

Парижское издание 1787 г. в трех томах содержало Предисловие, написанное, по-видимому, Кондорсе и де Лакруа, «Похвальное слово» Эйлеру, про-

читанное неперменным секретарем Парижской Академии наук Кондорсе в заседании Академии (с небольшими сокращениями), аннотацию перед титульным листом, в качестве которой был приведен фрагмент из «Похвального слова», начинавшийся словами: «Госпожа принцесса Ангальт-Дессау, племянница прусского короля...» и заканчивавшийся словами: «эти элементарные научные подробности приобретают некое величие благодаря их сближению со славой и гением человека, который их начертал». Кроме того, имелись подстрочные примечания, написанные Кондорсе и де Лакруа и касавшиеся главным образом добавлений к сказанному Эйлером, вызванных успехами наук за годы, прошедшие с момента написания «Писем к немецкой принцессе». Кондорсе намеревался напечатать в качестве четвертого тома этого издания свой труд «Элементы теории вероятностей» (об этом было объявлено в конце первого тома «Писем»), но, видимо, не успел его закончить, так как в третьем томе перед титульным листом появилась заметка о том, что «этот том завершает новое издание „Писем” великого Эйлера о физике и философии. Четвертый том, обещанный как продолжение, будучи целиком [сочинением] г-на маркиза Кондорсе, будет продаваться отдельно, когда у автора найдется время его закончить, на что публика может надеяться, так как половина тома уже была прочитана на заседаниях в Лицее».

В начале предисловия говорилось, что «„Письма г. Эйлера к немецкой принцессе” приобрели в Европе ту репутацию, какую должны были приобрести благодаря имени автора, ясности объяснений и выбору сюжетов. Их сочли произведением, чтение которого должно составлять часть общего образования. Это сочинение требует (от читателя) лишь самых элементарных знаний, дает правильное представление о многих предметах, важных самих по себе или способных вызвать любопытство; оно может внушить вкус к наукам и к философии, которая опирается на них и никогда не теряет их из вида».¹ Издатели считали, что автора «Писем» можно упрекнуть лишь за излишние подробности в объяснении некоторых вопросов, далеких от науки, а также в большом числе стилистических ошибок. В связи с этим издатели решили сделать некоторые сокращения и исправить стилистические погрешности, надеясь, что это не принесет вреда автору «Писем». «Великий человек, прославленный столькими великими открытиями, не станет менее великим из-за того, что писал не совсем верно на иностранном языке».² Эти исправления были сделаны «для того, чтобы юные читатели не сочли смешными отдельные выражения, проскользнувшие у великого человека».³ Другие изменения, в основном сокращения, относились к теологии.

Характер примечаний можно понять из нескольких примеров. На с. 61 т. I имеется примечание относительно слов Эйлера, что на самых высоких горах незаметен ветер. Издатели пишут: «Это кажется неточным. Должен существовать постоянный ветер с востока на запад в силу вращения Земли, как это сле-

¹ *Lettres de M. Euler à une princesse d'Allemagne...* Paris, 1787. T. I. P. III.

² *Ibid.* P. V.

³ *Ibid.*

дует из теории ветров г. Д'Аламбера. К тому же притяжение Луны, способное повышать уровень воды на земном шаре, без сомнения, сообщает некоторое движение атмосфере. Отсюда и течения на высоте. Аэростаты, будучи усовершенствованы, позволят нам получить достаточные знания об этом вопросе метеорологии».

На с. 62 — замечание, касающееся постоянного холода на высоте примерно мили от поверхности Земли. Издатели делают примечание: «Г. Шарль в своем воздушном путешествии первого декабря 1783 г. ощутил это изменение температуры самым чувствительным образом: так как на поверхности Земли термометр показывал $+7^{\circ}$, а через десять минут подъема (на воздушном шаре. — *Е. О.*) он опустился до -5° ».

Примечание на с. 87, т. 1 говорит о том, что Эйлер не изучил случаев, когда свет (излучение) исходит из нескольких источников, а звук — с разных сторон одновременно.

Примечание на с. 215 развивает слова Эйлера об опыте, сделанном в Перу парижскими академиками: академики, посланные в Перу в 1735 г. для измерения градуса меридиана, наблюдали отклонение отвеса их квадранта, вызванное притяжением соседней горы. Недавно г. Маскелин провел наблюдения, для того чтобы измерить эффект притяжения Шотландских гор.

На с. 231 Эйлер говорит о шести планетах Солнечной системы. Издатели дают примечание: «К этому перечню надо добавить планету, открытую в Бате 17 марта 1781 г. г. Гершелем и принятую сначала за комету. Она более удалена от Солнца, чем Сатурн, и ее орбиту следует представить седьмым кругом, охватывающим все остальные.

Время обращения ее примерно 83 года. Составлены таблицы ее движения, которые уже представляют наблюдения с точностью, свидетельствующей о совершенстве инструментов и методов. Выяснилось, что эта звезда уже наблюдалась в сентябре 1756 г. г. Майером из Гёттингена, но этот астроном принял ее за неподвижную звезду и, так как наблюдал ее лишь однажды, не смог узнать ее движения; ее определение совпадает с местом, которое таблицы указывают для планеты г. Гершеля, соответствующей этому времени. Она носит имя того, кто ее открыл.

Средние расстояния планет от Солнца могут быть выражены соответственно таким образом: расстояние Меркурия 4, Венеры 7, Земли 10, Марса 15, Юпитера 52, Сатурна 95, наконец этой планеты Гершеля 191''».

Заметим, что новую планету позднее назвали «звездой Георга», а потом Ураном.

В 1843 г. вышло в свет французское издание «Писем» в одном томе с предисловием и примечаниями Э. Сессе и с «Похвальным словом» Кондорсе. Издание содержало также перечень предыдущих французских изданий «Писем», в нем были примечания, касающиеся физических вопросов, в основном указывающие на те изменения в науке, которые произошли со времени предыдущего издания «Писем».

Эмиль Сессе был профессором философии в Нормальной школе Парижа, поэтому особое внимание он обратил на философские проблемы, содержащиеся в «Письмах». Сессе считал своим долгом показать Эйлера как философа, но не соглашался с его утверждениями и критикой положений Г. В. Лейбница. Он считал, что Эйлер извращает те доктрины, которые хочет опровергнуть. Таким было издание 1843 г. Следующее издание в двух томах, также Э. Сессе, вышло в 1859 г. Комментариев здесь значительно больше, расширена и вводная статья. Основное внимание обращено на полемику Эйлера с Лейбницем. В текст внесены также дополнения, связанные с новыми открытиями в науке, которые были сделаны после смерти Эйлера.

Во многих последующих переизданиях «Писем» другие издатели нередко наряду с дополнениями о новых открытиях в науке не постеснялись поставить свое имя рядом с именем Эйлера. Так, например, учитель гимназии в Готе Фридрих Криз изложил свои дополнения о новых открытиях в науке в форме писем, навязав таким образом свое соавторство великому ученому. Следует отметить, что и над переводом писем Эйлера Криз не потрудился, заимствовав перевод философа-просветителя Жапа Антуана де Кондорсе (Jean Antoine Condorcet de, 1743—1794) и математика Сильвестра Франсуа Лакруа (Silvestre François La Croix, 1765—1843). Немецкие издания 1847—1848 и 1853 гг., подготовленные Иоганом Мюллером, также исказили замысел Л. Эйлера. Мюллер выбросил философские письма автора (№ 80—132), добавив свои комментарии и дополнения и поставив рядом с Л. Эйлером свое имя.

Оценка «Писем к немецкой принцессе» не была однозначной. Непременный секретарь Парижской Академии наук Ж. А. Кондорсе писал: «Эти лекции опубликованы под названием „Письма к немецкой принцессе”, сочинение, ценное своей особой ясностью, с которой он изложил важнейшие истины механики, физической астрономии, оптики и теории звука, и остроумными рассуждениями, менее философскими, но более научными, чем те, которые позволили „Множественности миров” Фонтенеля⁴ пережить систему вихрей». Кондорсе также считал, что «...имя Эйлера, столь великое в науках, благоприятное впечатление, которое мы составили о его сочинениях, предназначенных для того, чтобы развить наиболее трудные и наиболее абстрактные разделы анализа, придает этим письмам, столь простым и понятным, особую прелесть: те, кто не изучал математики, удивленные, возможно польщенные тем, что могут понять труд Эйлера, будут ему благодарны за то, что он дал им такую возможность».⁵

Таким образом, Кондорсе считал главным достоинством «Писем» их ясность и доступность при изложении важнейших положений физико-математических наук.

⁴ Fontenelle B. Entretiens sur la pluralité des mondes. Paris, 1686.

⁵ Condorcet M. Éloge de M. Euler // Lettres de M. Euler à une princesse d'Allemagne sur différentes questions de physique et de philosophie / Nouvelle édition. Paris, 1787. T. 1. P. XXIX.

Э. Сессе в предисловии к первому тому издания 1859 г. писал: «„Письма к немецкой принцессе“... составляют лишь незначительную часть в трудах, на которых покоится слава Эйлера (он был автором 30 больших трактатов и более 700 статей), и могут лишь весьма непрямым и несовершенным образом позволить оценить в нем гениального физика и великого геометра; хотя мы видим, как сверкает в них в самой высшей степени удивительная ясность секрет которой принадлежит только выдающимся людям... эта редкостная и высочайшая ясность „Писем к немецкой принцессе“ не составляет их главного достоинства... нет сомнения также и в том, что она не объясняет той продолжительной популярности, которая, несмотря на стремительное движение физических наук за эти 80 лет (с 1768 по 1859 г.), позволила этим простым лекциям пережить столько более глубоких сочинений и даже теорий, ныне уже забытых, следы которых часто заметны в этом сочинении... Большинство его крупных трудов, посвященных исключительно математическому анализу, показывает нам его только как геометра... „Письма“ открывают [в нем] философа. Именно эту сторону трудов Эйлера... мы хотели бы показать».⁶

По мнению Сессе, «Письма» представляют собой живую картину философских споров того времени. Эйлер показал себя здесь врагом вольфианцев, причем его авторитет вызвал предубеждение против философской системы Х. Вольфа и Г. В. Лейбница [Предисловие, с. IV—V].

Вскоре после первой публикации «Писем» они привлекли к себе внимание Ж. Л. Д'Аламбера и Ж. Л. Лагранжа. 2 июня 1769 г. Лагранж писал Д'Аламберу: «Сочинения, которые г. Эйлер публикует в Петербурге, были написаны задолго до того и оставались в рукописном виде лишь потому, что не было издателя, который пожелал бы этим заняться; среди них есть одно, которого, ради его чести, не следовало бы печатать. Это — „Письма к немецкой принцессе“. Не знаю, известны ли они Вам; если Вас это интересует, я могу прислать Вам экземпляр с первой же оказией».⁷

Д'Аламбер ответил 16 июня 1769 г.: «Я с нетерпением ожидаю из Петербурга „Интегральное исчисление“ этого последнего и даже не прочь увидеть его „Письма к немецкой принцессе“. Судя по тому, что Вы мне о них говорите, это его Комментарий к Апокалипсису».⁸ Наш друг — великий аналитик, но довольно плохой философ».⁹

В письме от 15 июля 1769 г. Лагранж обещает при случае послать «Мемуары» Берлинской Академии наук и присоединить к ним экземпляр «Писем к немецкой принцессе» Эйлера, «которые Вы хотели видеть и которые развлекут

⁶ Ibid. P. II—III.

⁷ Lagrange J. L. Oeuvres. Paris, 1882. T. 13. P. 132.

⁸ Намек на сочинение И. Ньютона: *Newton I. Observations upon the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John*. London, 1733. (Апокалипсис — «Откровение Иоанна Богослова» — последняя книга Нового Завета).

⁹ Lagrange J. L. Oeuvres. T. 13. P. 135.

Вас, быть может, выходками против мудрых мужей».¹⁰ 2 августа того же года Лагранж извиняется, что еще не послал «Письма» — отложил до другой оказии, «тем более что у них нет других достоинств, кроме того, что они вышли из-под пера великого геометра».¹¹ Д'Аламбер отвечает 7 августа 1760 г.: «Что касается „Писем Эйлера к немецкой принцессе”, то посылать их мне незачем, если только они уже не отправлены: в этом случае я уступлю свой экземпляр какому-нибудь приятелю и верну Вам стоимость Вашего экземпляра.

Вы имеете основание говорить, что он не должен был печатать это сочинение ради своей чести. Невероятно, чтобы ум, столь великий, как он, в геометрии и анализе, в метафизике был слабее самого маленького школьника, если не сказать — столь плоским и столь абсурдным, и это позволяет сказать: „Non omnia eidem Dei dedere” («Боги не все дают одному». — Е. О.).¹² 16 октября 1769 г. Д'Аламбер последний раз упомянул о «Письмах»: «Я прочел „Письма Эйлера к немецкой принцессе” и сообщил Вам, что я о них думаю».¹³

В «Сборнике для астрономов», издававшемся в Берлине Иоганном III Бернулли, петербургское издание «Писем к немецкой принцессе» Л. Эйлера (СПб., 3 т., in 8°) было названо «интересным сочинением... великого геометра», которое «не должно быть упущено в нашем сборнике. Оно содержит много астрономических вопросов и делает эту науку привлекательной для тех, кого предшествующие труды могли бы испугать. Оно также должно быть переведено на немецкий язык».¹⁴ По-видимому, автором этих слов был сам И. Бернулли.

Швейцарский ученый-энциклопедист Шарль Бонне (Bonnet Charles, 1720—1795) 5 февраля 1772 г. писал Эйлеру: «Позволю себе побеседовать с Вами о Ваших „Письмах к принцессе”. Не могу выразить, какое удовольствие я испытал при чтении. Я их действительно перечитал второй раз и буду перечитывать часто, и не знаю, чему больше я должен был удивляться: глубине, замаскированной под самую большую простоту, или изумительной ясности, сверкающей повсюду. Как бы я хотел, чтобы Ваши основные занятия позволили Вам продолжить этот замечательный труд. Как бы я поспешил раздобыть и проглотить его! Самое большое удовлетворение я получил от того, что Вы все время стараетесь возвысить душу читателя к высоким материям, которыми мы обычно не занимаемся и призвать ум и сердце к открытию благодати, в нас сокрытой. О, если бы пример и наставления великого Эйлера могли когда-нибудь повлиять на тех варваров-писателей, которые обращают свою славу к разрушению всего и отнимают от человечества его самый сладостный опыт!».¹⁵

¹⁰ Ibid. P. 143.

¹¹ Ibid. P. 145.

¹² Ibid. P. 147—148.

¹³ Ibid. P. 151.

¹⁴ Recueil pour les astronomes. Berlin, 1776. Т. 3. P. 330.

¹⁵ ПФА РАН, ф. 1, оп. 3, д. 58, л. 203 об. Отрывок из письма Ш. Бонне к Л. Эйлеру дан в переводе Е. П. Ожиговой.

Приведем еще мнение о «Письмах» немецкого философа Артура Шопенгауэра (Schopenhauer Artur, 1788—1860) из его труда «Мир как воля и представление»: ¹⁶ «Многие истины остаются нераскрытыми только потому, что никто не имеет мужества охватить взором всю проблему и „разделаться“ с ней. У выдающихся умов, напротив, четкость мышления и ясность представлений приводит к тому, что в их изложении даже известные истины обретают новый свет или, по крайней мере, особую привлекательность. Когда их слушаешь или читаешь, то испытываешь такое ощущение, будто плохой телескоп заменили хорошим... именно таково чтение... эйлеровских „Писем к принцессе“... На их основано замечание Дидро ¹⁷ в „Племяннике Рамо“, ¹⁸ что только подлинники мастера способны по-настоящему хорошо излагать первоосновы науки, ибо лишь они действительно понимают суть дела и у них слова никогда не вытесняют мысль. Нужно глубоко проникнуть в искусство или науку, чтобы овладеть их основами. Классические творения могут быть по-настоящему написаны только теми, кто посидел в трудах...». Далее Шопенгауэр ссылается на вопрос, с которым племянник выдающегося французского композитора Жана Филиппа Рамо (Rameau Jean Philippe, 1683—1764) обратился к Дидро: «...Спросите Вашего друга Д'Аламбера, корифея математической науки, сможет ли он изложить ее основные начала? Мой дядя (Ж. Ф. Рамо. — Е. О.) только после тридцати или сорока лет занятий проник в глубины теории музыки...».¹⁹

Список изданий «Писем к немецкой принцессе» был составлен под редакцией Андреаса Шпайзера (Speiser Andreas, 1885—1970), профессора математики университетов в Базеле и Цюрихе, главного редактора Полного собрания сочинений Леонарда Эйлера («Leonardi Euleri Opera Omnia»), которое было опубликовано Международной комиссией по изданию всех сочинений Л. Эйлера, находящейся в Базеле.

Надпись на титульном листе гласит: «Леонарда Эйлера „Письма к немецкой принцессе“ с присоединением во спасение Божественного Откровения похвального слова Эйлеру маркиза де Кондорсе. Том первый. Издан Андреасом Шпайзером, под эгидой и на средства Швейцарского общества естественных наук. Цюрих, 1960. Продажу осуществляет „Orell Füssli“, Цюрих».²⁰

¹⁶ Schopenhauer A. Die Welt als Wille und Vorstellung. III. Aufl. Leipzig, 1859. Приведенная цитата заимствована из Opera Omnia — сер. 3. Т. II. 1960. С. VIII, пер. Е. П. Ожиговой.

¹⁷ Дени Дидро (Diderot Denis, 1713—1784) — французский философ-материалист, основатель «Энциклопедии, или Толкового словаря наук, искусств и ремесел» (Париж, 1751—1772).

¹⁸ Дидро Д. Племянник Рамо / Пер. А. Федорова. М., 1980. С. 154—156. Первое изд. — Париж, 1823.

¹⁹ Там же. С. 154—156.

²⁰ Leonhardi Euleri Litterae à une princesse d'Allemagne, accesserunt Rettung der Göttlichen Offenbarung, Éloge d'Euler par le marquis de Condorcet. Volumen Prius / Ed. A. Speiser. Auctoritate et impensis Societatis Scientiarum Naturalium Helveticae. Turici, MCMLX. Venditioni Exponunt «Orell Füssli», Turici.

«ПИСЬМА К НЕМЕЦКОЙ ПРИНЦЕССЕ» Л. ЭЙЛЕРА И НАУКА XVIII в.

28 июля 1766 г. в Санкт-Петербург по приглашению Екатерины II возвращается Леонард Эйлер. Еще двадцатилетним юношей в 1725 г. он, по рекомендации Даниила Бернулли, стал адъюнктом по физиологии новой Императорской Академии наук. Екатерина I, выполняя волю Петра, создавала в столице научный центр. Однако после смерти Екатерины отношение к науке изменилось. Положение ученого стало особенно тяжелым к концу правления Анны Иоанновны. Эйлер был вынужден покинуть Россию, и в течение 25 лет он несет службу при прусском дворе Фридриха II. Но сердце влекло его в Россию, и первое же приглашение вернуться в северную столицу было им принято без особых колебаний.

Среди бумаг, привезенных Эйлером из Берлина, была французская рукопись «Lettres à une Princesse D'Allemagne sur divers sujets de Physique & de Philosophie».

Вскоре после приезда в Петербург Эйлер ослеп, но это не умерило его научной активности. Обладая феноменальной памятью и способностью производить в уме сложные вычисления, он диктует одну за другой статьи и монографии. Занимаясь, кроме того, делами Академии, он находит время для издания написанных в Берлине «Писем к немецкой принцессе».

Уже через два года перевод первой части, сделанный учеником Эйлера и будущим вице-президентом Академии наук Степаном Румовским, печатается в академической типографии. Почти одновременно та же типография печатает и первый том на французском языке. Второй и третий тома издаются в 1772 г. и 1774 г. соответственно.

Письма имели большой успех. До конца XVIII в. вышло еще три русских издания и издание на немецком языке. Тираж первого русского издания составлял 600 экз. (по 70 коп. за том), второго — 412, третьего — 410; о тираже четвертого сведений нет. Можно полагать, что общее число экземпляров приближалось к 2000. Для оценки этой величины полезно отметить, что население столицы составляло в это время около 200 тыс. (а всей России около 20 млн человек) и что хорошая мука стоила 70—80 коп. за пуд (16 кг).

Таким образом, у Эйлера была достаточно большая аудитория и в этом отношении Россия не отставала от Европы.¹ Следует отметить, что в XVIII в.

¹ Сказанное относится только ко второй половине XVIII в. В первой половине XVIII в. все было иначе. Учение Ньютона сразу же после издания «Начал» было признано на Британских

наука выходит за границы узкого круга ученых и интерес к ней распространяется на широкие круги общества. Идеи Ньютона захватывают как Англию, так и континент. Развивается потребность в популяризации науки.² Появляются научно-популярные книги, посвященные открытиям Ньютона. Издание писем как нельзя лучше отвечало требованиям времени.

Свидетельством их успеха служит то, что кроме русского и немецкого «Письма» к концу века были переведены еще на 6 языков: голландский, шведский, итальянский, английский, испанский и датский.

К середине XIX в. число изданий на всех языках достигло 60. К настоящему времени их стало более сотни. Редкая научно-популярная книга может соперничать в этом отношении с «Письмами». По своему значению их можно сравнить лишь с «Системой мира» Лапласа, вышедшей в 1796 г.³

Сценарий. Рассказ Эйлера о физике и философии основан на хорошо продуманном сценарии. Изложение четко разделяется на три части. Письма 1—79 написаны просто, они посвящены наиболее разработанным в те времена разделам физики — учению о распространении звука в воздухе, о свойствах света и о тяготении. Вводя читателя в круг физики, автор обращается к общим проблемам, связанным с природой наших знаний, и философским системам того времени, сконцентрированным в проблеме мельчайших объектов — монад. Философская тема занимает письма 80—132. С письма 133 автор возвращается к физике — мы бы назвали эти письма дополнительными главами. В дополнение к письмам о свете Эйлер рассказывает об аналогии между цветом и высотой звука.

С письма 138 Эйлер переходит к очень трудному, с его точки зрения, вопросу — объяснению электрических явлений (письма 138—151). К явлению

островах. Однако на континенте Европы вплоть до середины XVIII в. безраздельно господствовало картезианство. Немногие ньютонианцы, такие как Ж. Н. Делиль во Франции, Я. Герман в Швейцарии, чувствовали себя очень неудобно и с готовностью согласились ехать в новую Петербургскую Академию наук. Так получилось, что в Россию приехали немногие в Европе ньютонианцы — Ж. Н. Делиль, Я. Герман и молодые выпускники европейских университетов, такие как Л. Эйлер, Д. Бернулли, Г. В. Крафт, Ф. Х. Майер и др. Ньютонианцы начали обучать молодежь. Так Петербург стал центром ньютонизма, и именно отсюда оно распространилось по Европе. Пребывание Эйлера в Берлине после отъезда из России способствовало признанию ньютонизма в Германии, а возвращение Делиля в Париж, Д. Бернулли в Швейцарию — признанию его во Франции и Швейцарии, и т. д. Итак, ньютонизм на Европейском континенте шло из России!

² Первым в России популярным журналом, пропагандировавшим идеи Ньютона, стал издававшийся Петербургской Академией наук журнал «Примечания на „Ведомости“». Первую (и единственную в то время) газету России «Санкт-Петербургские ведомости» Петербургская Академия наук издавала с 1726 г. В 1728 г. Академия начала печатать приложение к газете — «Примечания на „Ведомости“». Оба издания печатались на русском и немецком языках. Газета и особенно журнал пользовались огромной популярностью не только в России, но и по всей Европе. Журнал существовал в течение 14 лет (1728—1742) и сыграл важную роль в пропаганде ньютонизма в Европе.

³ Laplace P. S. Exposition du système du monde. Paris, 1796. Vol. 1, 2.

ям магнитным Эйлер подходит издали — с рассказа о способах измерения долготы и ориентирования на море. Изложение становится здесь серьезнее и явно рассчитано на более подготовленного читателя. Рассказу о магнитах посвящены письма 152—185. Самые последние письма 187—234 можно назвать элементарным курсом теории оптических приборов и небесной сферы. В этих письмах содержатся геометрические доказательства, что требует от читателя знания элементов математики. Кажется, автор полагает, что по мере изучения писем читатель постепенно углубляет свои знания. Во всяком случае письма адресованы активному читателю, такому, который хочет одолеть крутой путь в науку.

Конечно, материал, изложенный в «Письмах», не мог вывести их читателя на тот уровень науки, на котором работал сам Эйлер. Но он думал и об этом. Еще во время первого пребывания в России он написал учебник механики, а по возвращении в Петербург пишет учебники арифметики, алгебры и интегрального исчисления.⁴

Проблемы. Физика XVIII в., ее цели и методы отличаются от целей и методов нашего времени. Только в механике были уравнения и формулы и только в механике можно было, решая уравнения, получать численные характеристики явлений, анализировать движение небесных тел, предсказывая их судьбу.

Создание нового математического метода превратило механику в строгую аналитическую науку в нашем современном смысле этого слова. После опубликования «Математических начал натуральной философии» появилась уверенность в том, что одни и те же законы действуют как на Земле, так и на небе.

Надо отметить, что, относя все успехи к Ньютону, история несправедлива к своим героям. В создании новой механики кроме Ньютона большую роль сыграл старший его современник, его предшественник на посту секретаря Лондонского Королевского общества английской Академии наук Роберт Гук. Гуку принадлежит открытие первого закона динамики, закона упругих сил, который носит его имя. Гук знал и о законе обратных квадратов для сил тяготения. Фактически Гук был первым, кто понял, что такое силы и как их измерять.

Но каковы бы ни были заслуги Гука, только Ньютон смог завершить создание механики и продемонстрировать возможности человека в познании природы.

Успехи механики были столь велики, что она заняла особое место в системе наук.

Оснащенная новым математическим аппаратом, проверенная астрономическими наблюдениями, механика Ньютона стала математической дисциплиной.

⁴ Euler L. *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*. Petropoli, 1736. Т. 1, 2; *Institutionum calculi integralis...* Petropoli, 1770; *Vollständige Anleitung zur Algebra*. SPb., 1770; Универсальная арифметика. СПб., 1768.

LEONHARDI EULERI

LETTRES A UNE PRINCESSE
D'ALLEMAGNE

ACCESSERUNT

RETTUNG DER GÖTTLICHEN OFFENBARUNG
ELOGE D'EULER PAR LE MARQUIS DE CONDORCET

VOLUMEN PRIUS

EDIDIT

ANDREAS SPEISER

AUCTORITATE ET IMPENSIS
SOCIETATIS SCIENTIARUM NATURALIUM HELVETICAE

TURICI MCMLX

VENDITIONI EXPONUNT
ORELL FÜSSLI TURICI

ной. Исследования в остальных разделах физики продолжали оставаться на уровне философских качественных рассуждений.

Различие было так велико, что после Ньютона механику даже отделяли от физики. Еще в XIX в. в Англии читались лекции по натуральной философии, которая разделялась на механику и физику.

Разделение оправдывалось и тем, что в отличие от небесной механики «земная» физика накопила еще очень мало материалов. Можно напомнить, что только в 1785 г. был открыт закон Кулона. Закон Гей-Люссака был открыт в 1808 г., а закон Ома лишь в 1828 г.

Такое положение в науке определило и содержание «Писем к немецкой принцессе». В письмах почти нет формул и графиков. Функциональные отношения между физическими величинами не входят в программу Эйлера. Только в последних письмах появляются чертежи, относящиеся к оптическим приборам.

Чему же учит Эйлер своих корреспонденток?

Рассказывая о физических явлениях в той мере, в какой о них было известно в его время, Эйлер убеждает читателя, что можно создать единую физическую картину, которая опирается лишь на одну гипотезу — гипотезу мирового всепроникающего эфира, который в конце концов подчиняется законам Ньютона.

Задачу физики он видит в понимании природы сил притяжения, господствующих в мире. От этой задачи отрекся в свое время Ньютон, написав знаменитые слова: «Гипотез не строю».

Но этой, так сказать, рациональной стороной дела не исчерпывались задачи физики. Другими, быть может, даже более важными вопросами были вопросы о природе знания и о критерии истинности знаний. Уже в XIX в. вопросы такого рода исчезли из физики. Они стали предметом исследований и споров философов. Но во времена Эйлера, когда опытная база физики была очень скудна, исследователь искал оправдания и опоры для своей деятельности в философии, которая была неотделима от физики. Казалось таинственным отношение между практической деятельностью и мышлением (речь шла о теле и душе). Размышление над такими проблемами приводило к проблеме свободы воли. Все это заставляло искать решение вопросов об истинности знания, знания, рождающегося в голове исследователя, в областях, близких к теологии. Физике того времени отдавалось изучение простых движений, объясняемых механической причинностью, но такая физика связывалась с пневматологией, наукой, изучающей деятельность духов. Не следует поэтому удивляться, что многие письма (начиная с 80-го) содержат обсуждение таких вопросов, которые сейчас признаются не имеющими отношения к физике. Развитие физики в XIX и XX вв. всегда поддерживалось экспериментом. Критерием истины стал опыт, и необходимость в метафизических доказательствах исчезла.

Эйлер в «Письмах» старается, как только можно, избавиться от мистических элементов в физике, но вынужден критически отразить современные ему взгляды немецкой школы Вольфа.

Декарт и Ньютон. Эйлер был убежден, что все, происходящее в физическом мире, связано с движением эфира. На этот счет существовали разные взгляды. Наиболее разработаны были представления об эфире у Декарта и его последователей картезианцев.

Картезианцы не мыслили пространство без материи. Материя обладала тремя атрибутами: протяженностью, непроницаемостью и инертностью. Пространство это и есть место, которое занимает тело. Различать их можно лишь формально. Также и протяженность пространства совпадает с протяженностью тела. Все свободные места там, где нет материи, и в порах, пронизывающих материю, занимает эфир. Понятие эфира можно найти у древних философов, при желании его можно найти даже в индийских Ведах. Но физический эфир, наделенный определенными свойствами и играющий строго определенную роль, появился только у Декарта.

Эфир Декарта — динамическая система, заполненная вихревыми движениями. Вихри осуществляют взаимодействие материальных тел, в движении вихрей заключена причина сил тяготения.

Ньютон представлял себе мир совершенно другим. Пространство и время у Ньютона существуют независимо от материи. Пространство — это большой ящик, с которым связаны некие абстрактные часы, показывающие всюду одно и то же время.

Не следует, однако, слишком упрощать мысли Ньютона.

Чтобы построить новую эффективную теорию, надо не только предложить новую идею, но и поставить ей определенные границы, оставив детальный анализ на будущее время.

Для цели, которую он перед собой поставил, — создание механики, модель независимого пространства—времени была идеальной.

Характерной чертой модели Ньютона было представление о мгновенной передаче гравитационного взаимодействия — действию на расстоянии. Таким образом, модель Декарта была динамической, но он не мог ничего сказать о законе взаимодействия. Ньютон, напротив, установил закон сил, не обсуждая природу этих сил и способов их передачи.

Вне механики Ньютон чувствовал себя более свободным. В оптике он признавал существование какой-то среды, которая могла бы снабдить частицы света «легкими приступами», что было нужно Ньютону для объяснения интерференционных явлений, которые он наблюдал.

Эйлер и Ломоносов. Другой яркой фигурой в Санкт-Петербурге был М. В. Ломоносов. К сожалению, Л. Эйлер и М. В. Ломоносов лично не много общались. В 1736 г., когда Ломоносова вместе с другими московскими учениками привезли в Петербургскую Академию учиться, он, вероятно, познакомился с Эйлером. Скорее всего, это произошло в астрономической обсерватории. Там обычно собирались все сотрудники Академии наук, а также преподаватели и ученики академических гимназий и университета. Директор обсерватории Жозеф Николя Делиль, приглашенный из Парижа

лично Петром I, обещал царю распространять научные знания в России. Вскоре, однако, Ломоносов был послан учиться горному делу в Германию. В Россию он вернулся лишь 8 июня 1741 г., а 13 октября того же года Эйлер уехал из Петербурга в Берлин. В Петербург он вернулся в 1766 г., когда Ломоносова уже не было в живых (он умер в 1765 г.). Но несмотря на это, Эйлер и Ломоносов хорошо знали и ценили работы друг друга. Когда всесильный правитель академической Канцелярии И. Д. Шумахер, стремясь погубить Ломоносова, отправил на отзыв Эйлеру работы, содержавшие критику его модели земной атмосферы, Эйлер дал восторженный отзыв на труды своего оппонента.

Забываясь о воспитании молодых ученых, Ломоносов перевел на русский язык раздел, посвященный экспериментальной физике⁵ из большого сочинения Х. Вольфа, составленного его учеником Л. Ф. Тюммигом (Thummig Ludwig Philipp, 1690—1728).⁶ Тюммиг значительно сократил текст Вольфа за счет философских отступлений, а Ломоносов сократил их еще больше, особенно во втором издании 1791 г., вышедшем уже после его смерти. В таком виде книгу можно было использовать как учебный курс, да и то эта книга не очень-то годилась для преподавания. А курсы физики в Петербурге уже были: например, написанные Г. В. Крафтом, обучавшимся экспериментальной физике у Ж. Н. Делиля и проработавшим несколько лет в его астрономической обсерватории, где была и камера-обскура, в которой проводились физические и астрофизические исследования. Кстати, в список книг, составленный для тех, кто хочет стать астрономом, Делиль включил именно «Физику» Х. Вольфа. Однако не как образец, которому надо следовать, а как неудачный пример. В Петербурге все бывали в обсерватории и знали об отношении Делиля к Вольфу. Постепенно, по мере проведения исследований ученые присоединились к мнению Делиля. Итогом антивольфианской деятельности в Петербурге стало публичное собрание 2 февраля 1732 г. Основным докладчиком был И. Г. Гмелин, от имени Академии выступал Л. Эйлер. Оба докладчика пришли к выводу, что определять, как выглядят «элементарные частицы», должны экспериментаторы, а не философы. Последним же предлагается рассуждать о том, что может произойти с этими частицами.⁷

В предисловии к учебнику Ломоносов пишет: «Мы живем в такое время, в которое науки, после своего возобновления в Европе, возрастают и к совершенству приходят. Варварские веки, в которые купно с общим покоем рода

⁵ Вольфианская экспериментальная физика с немецкого подлинника на латинском языке сокращенная, с которого на русский язык перевел Михайло Ломоносов, Императорской Академии наук член и химии профессор. СПб., 1746.

⁶ Thummig L. Ph. Institutiones philosophiae Wolffianae in usus academicos adornatae. Francofurt; Lipsiae, 1725. Т. 1.

⁷ Текст «Эйлер и Ломоносов» написан Н. И. Невской. Подробнее см.: Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. С. 149—150; Источники по истории астрономии России XVIII в. СПб., 2000. Т. 1. С. 302—320, 325, 386—388.

человеческого и науки нарушались и почти совсем уничтожены были, уже прежде двухсот лет окончились. Сии паставаляющие нас к благополучию предводительницы, а особливо философия, не меньше от слепого прилепления ко мнениям славного человека, нежели от тогдашних беспокойств претерпели. Все, которые в оной упражнялись, одному Аристотелю последовали, и его мнение за пеложное почитали. Я не презираю сего славного и в свое время отменитого от других философа, но тем не без сожаления удивляюсь, которые про смертного человека думали, будто бы он в своих мнениях не имел никакого прегрешения, что было главным препятствием к приращению философии и прочих наук, которые от ней много зависят. Через сие отнято было благородное рвение, чтобы в науках упражняющиеся один перед другим старались о новых и полезных изобретениях. Славный и первый из новых философов Картезий осмелился Аристотелеву философию опровергнуть и учить по своему мнению и вымыслу. Мы, кроме других его заслуг, особливо за то благодарны, что тем ученых людей ободрил против Аристотеля, против себя самого и против прочих философов в правде спорить и тем самым открыл дорогу к вольному философствованию и к вящему наук приращению. На сие взирая, коль много новых изобретений искусные мужи в Европе показали, и полезных книг сочинили». И дальше: «Сие больше от того происходит, что ныне ученые люди, а особливо испытатели натуральных вещей, мало взирают на родившиеся в одной голове вымыслы и пустые речи, но больше утверждают на достоверном искусстве. Главнейшая часть натуральной науки физика ныне уже только на одном оном свое основание имеет. Мысленные рассуждения произведены бывают из надежных и много раз повторенных опытов».⁸

Какими бы ни были взгляды разных школ, как бы ни различались теории, обсуждаемые в Англии и на материке — в России, Германии и Франции, естествоиспытатели были согласны в одном: в XVII в. заканчивалась эпоха безраздельного господства метафизики Аристотеля, кончалась схоластика. Явления природы следовало теперь изучать на основе наблюдений и опытов, а теория должна стремиться к описанию этих явлений языком математики.

Курс, изданный Ломоносовым, может служить прекрасным введением к «Письмам» Эйлера. Курс построен на описании большого количества демонстраций с жидкостями, воздухом (о газе вообще разговора еще нет), со светом и магнитной стрелкой. Немного рассказано о погоде и почему-то о том, как погибают животные без воздуха. Однако, давая описания опытов, автор не дает им никакого объяснения. Никакой картины мира у читателя не возникает. В этом смысле изложение Эйлера начинается там, где кончается вольфианская физика. В своем предисловии Ломоносов с восторгом писал: «...Пифагор за

⁸ Учебник Вольфа вышел в свет в 1746 г. тиражом 600 экз. (по 60 коп. экз.), к ним добавились еще 600 в январе 1747 г., а в 1760 г. вышло уже второе издание. Как и в случае «Писем», общий тираж составил более 1500 экз.

изобретение одного геометрического правила Зевесу принес на жертву сто волов. Но ежели бы за найденные в нынешние времена от остроумных математиков правила по суеверной его ревности поступать, то едва в целом свете столько рогатого скота ссыкалось.

Словом в новейшие времена науки столько возросли, что не токмо за тысячу, но и за сто лет жившие едва ли могли надеяться». И кончает Ломоносов словами: «Оканчивая сие от искреннего сердца желаю, чтобы по мере обширного сего государства высокие науки в нем распространились и чтобы в сынах российских к оным охота и ревность равномерно умножилась».

Пришло время осмыслить накопленные знания. Это и станет главной темой «Писем» Эйлера.

Письма о звуке и музыке. Дальнейшие краткие замечания имеют своей целью подчеркнуть наиболее важные темы в «Письмах» и помочь уловить их логическую связь.

Свой рассказ о физических явлениях Эйлер начинает с распространения волн в воздухе — со звука и подробно излагает свои представления о музыке.

Если музыке отведено довольно много места, то таков стиль Эйлера: он всегда подробно рассказывает о вещах, которые его особенно интересовали. Такой темой и была теория музыки. Среди его трудов есть работы, в которых он разрабатывал арифметический метод определения консонансов.

В основу своего анализа музыкального лада он положил пифагорейскую идею о том, что человеку приятны лишь те звуки, отношения частот которых определяются простыми числами.

Эйлер строит музыкальный ряд по шкале частот с помощью степеней первых трех простых чисел: 2, 3, 5 (так это делается и сейчас). В свое время он предложил ввести следующее простое число 7. Такое расширение шкалы привело бы, например, к появлению отношения частот 8 : 7. Идея хотя и не сразу, но была отброшена, так как благозвучной шкалы не получилось.

Рассуждая о причине эмоционального воздействия, он в письме 9 связывает удовольствие, которое дает музыка, с необходимостью разгадать и прогнозировать идею композитора. Он даже проводит аналогию между слушанием музыки и процессом разгадывания загадки.

Это глубокое замечание о существовании в нашем мышлении двух алгоритмов предсказания и проверки прогноза получило развитие лишь в современной физиологии.

Числовые значения частот, приводимые Эйлером, как правило, не верны; важны лишь интервалы — отношения частот. Так, в письме 7 он дает для C (до большой октавы) число колебаний, равное $2^7 \times 3 = 384$,⁹ а в письме 3 для той же величины он дает значение 100.

⁹ Числом колебаний в то время называлось число «полуходов», т. е. число колебаний в нашем смысле равно 192.

В классической книге «Акустика»,¹⁰ изданной в 1802 г., для С приводится значение 128, точность которого станет более понятной, если учесть, что в то время не было общепринятого стандарта, и Хладни дает некоторое среднее значение.¹¹

В таблице письма 7 все числа умножены на общий множитель так, чтобы уничтожились дроби, так как в системе частот, основанной на простых числах 2, 3, 5, возникают дробные значения. Заметим еще, что такая система — ее называют иногда чистым строем — не лишена недостатков. Очевидный из них — неравенство интервалов, что препятствует изменению тональности.

Рассмотрение созвучий на основе 2, 3, 5 относят к древности, и Эйлер не был первым в этом вопросе. Его попытка развить эту идею и построить звукоряд на простых числах 2, 3, 5, 7 оказалась, как мы уже говорили, не столь простым делом, так как при этом рождались слишком большие диссонансы.

Эйлер рано начал интересоваться музыкой. В 1731 г. он писал Бернулли: «Я пытался представить музыку как часть математики, так чтобы любые соединения или смешивания тонов могли быть аккуратно выведены из точных исходных положений». В конце письма 7 Эйлер все же отдает первенство музыке.

В письме 9 Эйлер переходит к описанию свойств воздуха — среды, в которой звуки распространяются. Рассказ о звуках переходит в рассказ об атмосфере и свойствах газов.¹²

Рассуждения о распределении температуры в атмосфере переходят в описание свойств света и прозрачности и непрозрачности среды; отсюда почти естествен переход к линзам и устройству глаза (письма 17—44).

Окончив рассказ о сравнительно простых вещах, Эйлер переходит к самой трудной теме — к тяготению. Проявление сил тяготения на Земле (его называли тяжестью), закон всемирного тяготения представлялся весьма загадочным. Для Эйлера было неизбежным признать реальным эфир. Естественным вопросом, существуют ли, кроме тяготения, и другие силы, он и заканчивает первую часть «Писем».

Христиан Вольф. Как уже говорилось, философия для ученого XVIII в. входит в физику. Изучая природу, надо быть убежденным и суметь убедить читателя в реальности существования мира. Это утверждение было отнюдь не

¹⁰ *Chladni E. F. F. Die Akustik. Leipzig, 1802.*

¹¹ В наше время принят другой стандарт. Для *a* (ля первой октавы) сейчас принято 440 колебаний в секунду, Хладни дает для этого звука (после деления на 2) 425 колебаний в секунду. Насколько точно умели измерять частоту в XVIII в., неизвестно. Хладни пишет, что делать это не умели, и для этой цели предлагает свой метод. Для сравнения Хладни приводит измерения капельмейстера Сартти (*Sarti Giuseppe, 1729—1802*, почетный член Санкт-Петербургской Академии), из которых для *a* получается 436 колебаний. Интересно, что стандарт частоты все время повышается. Поэтому частота 426 у Хладни, наверно, соответствовала принятому в конце XVIII в. строю. Французы связывают этот строй с именем венецианского композитора XVI в. Царлино (1517—1590). Ср.: *Тейлор А. Физика музыкальных звуков. М., 1976.*

¹² Интересно, что вместо газа Эйлер говорит о жидкости (ср. письмо 9). Понятие о газе еще не было принято в физике.

очевидным, и средневековые идеи о его эфемерности не утратили своей привлекательности. Значит, для рассуждения о законах природы необходима уверенность в ее объективном существовании. Нелишне напомнить, что даже в наше время реальность квантового мира породила неутраченные споры.

Рассказав о некоторых физических явлениях, Эйлер обрушивается с критикой на тех, кто не признает реальности внешнего мира. Его главные противники — это философы, которые стоят на точке зрения, что внешнего мира нет вовсе, или он существует, но в этом мире нет порядка, нет закономерностей. Для них занятие физикой пустое дело. Эйлер зло иронизирует над ними. Эти философы, Эйлер их называет скептиками, или пирронистами, исповедуют учение, истоками которого служат взгляды Пиррона, жившего в III в. до н. э.¹³

Частой мишенью иронических замечаний Эйлера и большинства петербургских ученых был уже известный нам Христиан Вольф (1679—1754). Вольф был профессором в Галле и при жизни славился как выдающийся философ, физик и математик.¹⁴

Христиан Вольф и в самом деле был необычный человек. Обладая энциклопедическими знаниями, он попытался привести в систему накопленные знания в разных областях — от теологии и этики до логики и физики. Особенно велика была его роль в развитии философии в Германии и становлении Прусской Академии наук. Петербургские ученые были знакомы с Вольфом. По пути в Петербург, проезжая через Марбург, Л. Эйлер встретил Вольфа, изгнанного Фридрихом I из Галле, и беседовал с ним. Своими советами Вольф помогал подбирать людей и оборудование для Петербургской Академии. По книгам Вольфа учились в континентальной Европе (но не в России первой половины XVIII в.! — Н. Н.). Проходя обучение горному делу в Германии, у Вольфа учился Ломоносов, который уважал Х. Вольфа как хорошего и доброго человека, но не соглашался с его философской системой.

В России кроме упомянутого учебника экспериментальной физики было популярно «Сокращение первых оснований математики», переведенное на русский язык в конце XVIII в. (2-е издание, которым я пользовался, помечено 1791 г.). В этой книге дается любопытное определение науки: «Через науку разумеется уметь доказать правду, порядочно и основательно, всего, что полагается».

¹³ Ср.: Диоген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. М., 1979; Рассел Б. История западной философии. М., 1959. Гл. XXVI.

¹⁴ Именно как математика, способного помочь ему в создании морского флота России, Петр I и приглашал Х. Вольфа. В записке И. Д. Шумахеру в феврале 1721 г., отправляя его в Европу с поручением приглашать сотрудников в новую Петербургскую Академию, Петр писал о Х. Вольфе: «Как возможно с добрым прилежанием... профессора Вольфа в Галле городе *яко математика* в сего государству службу призвать». Далее в этой записке Петр поручал Вольфу оценить вечный двигатель, предложенный неким Орфиреем, и если это изобретение заслуживает внимания, купить его. Ясно, что Вольф никоим образом не мог помочь Петру как математик и физик в строительстве морского флота. Не мог он также судить о механических свойствах Орфиреева вечного двигателя. (Подробнее см.: Источники по истории астрономии России XVIII в. С. 19).

Вольф был последователем Лейбница и считал себя пропагандистом его философии. Однако, популяризируя эти идеи, он многое или упрощал, или давал неправильное толкование. Особенно отличалась лейбниц-вольфовская философия (как ее называли) в представлении о монадах — мельчайших структурных единицах в природе. Эйлер уделяет много места этому вопросу, одинаково настойчиво отвергая как лейбницианские, так и вольфианские монады (письма 125—132).

Несчастьем Вольфа было то, что он не мог оторваться от старой системы мышления, хотя из-за этого и попадал в курьезные (но весьма опасные) положения (см. письмо 84). Его консерватизм помешал сделать ему что-либо существенное в науке. В результате один из самых популярных ученых XVIII в. был практически забыт. В русской литературе о его работах можно найти лишь краткие упоминания в словарях или книгах по истории философии и логики.¹⁵

Но в начале XVIII в. в России имя Вольфа пользовалось большим уважением. Лейб-медик Петра I Блюментрост от имени своего пациента просил Вольфа как наиболее авторитетного ученого Европы дать заключение о вечном двигателе, который упорно рекламировал его изобретатель Орфиреус, надеясь продать его русскому царю. Вольф ответил неопределенно, и царь в ответ предложил ему поступить на любых условиях к нему на службу для усовершенствования двигателя Орфиреуса.¹⁶ Переговоры о переезде длились до самой смерти Петра, Вольф так и не переехал в русскую столицу. Но его услуги России продолжались. Так, он содействовал, например, приглашению братьев Бернулли, Даниеля и Николая.

В книгах П. П. Пекарского о Вольфе говорится с почтением: «Особенная ясность и определенность в изложении математических начал и переработке философии по математическому методу доставили в свое время Вольфу громадную известность и множество последователей».¹⁷ Но сейчас от его былой славы не осталось ничего.

Природа сил. Взгляды ученых XVIII в. отличались удивительным многообразием и несогласованностью. Для того чтобы построить единую картину физического мира, Эйлеру приходилось из противоречивых идей и теорий выбирать наиболее разумные и доказывать ложность отброшенных.

Особенно противоречивы были идеи о природе сил притяжения. По этому вопросу шли споры с вольфианцами, последователями Х. Вольфа. Им возражали, в частности, все ученики Ж. Н. Делиля — петербургского академика, выходца из Франции. В их числе оказались также Эйлер и Ломоносов. Их аргументы были на стороне Ньютона, однако не во всем. Особое сомнение вызывало ньютоновское объяснение тяготения. Ньютон считал, что источни-

¹⁵ Ср.: *Маковельский Л. О.* История логики. М., 1967.

¹⁶ Вся эта история описана в книгах: *Пекарский П. П.* Наука и литература при Петре Великом. СПб., 1862; История Императорской Академии наук в Петербурге. СПб., 1870, 1873. Т. 1—2.

¹⁷ *Пекарский П. П.* Наука и литература при Петре Великом. С. 33—39, 49, 50—52.

ком сил притяжения являются взаимодействующие тела. Их действие передается через пустое пространство, и никакое более детальное описание для механики не нужно.

Однако такую простую точку зрения принять оказалось трудно. Философы требовали другого ответа об агенте, создающем силы. Движение тел в их глазах требовало чьей-то воли или души. Вольф находил душу в монадах — странных структурных единицах материи, лишенных протяженности, но обладающих неустойчивым стремлением изменять свое движение. Управляемые только Богом, они никак не реагируют друг на друга, кажущиеся закономерности в движении тел есть только отражение порядка, управляемого свыше.

В письме 76 Эйлер, отвергая существование монад, видит механизм притяжения в движении эфира.

Критерий истинности своих взглядов он находит в идее о совершенстве природы. Такой аргумент он использует в более примитивной форме в споре с философами, которые отрицают совершенство природы и которых он за это называет атеистами. В письме 154 Эйлер восторгается совершенством глаза, отсутствием в нем хроматической аберрации и стыдит тех, кто этого не понимает.

Проблема сил притяжения не сходит со сцены и в следующие века. Заменяя модель пустого пространства Ньютона моделью всепроникающего эфира, Эйлер не углублялся больше в этот вопрос. Для него задача представляется решенной. Решена ли она окончательно, мы не знаем даже сейчас.

Эфир. Аристотель относит идею мирового эфира к древним: «Так называемый эфир исстари получил свое имя, и Анаксагор полагал, как мне кажется, что это слово означает то же, что и огонь, ибо он считает, что верхние области заполнены огнем и что древние называли эфиром обретающуюся там силу...».¹⁸

У Декарта эфир перестал быть лишь метафизическим объектом. Декарт наделил его неиссякаемым движением. Но эфир Декарта не может передавать притяжения: его вихри могут лишь расталкивать тела. Поэтому с новолунием должен совпадать отлив (Луна отталкивает воду океанов). Эйлер же приводит теорию и опыт в согласие, заключая, что эфир способен передавать и силы тяготения.

Еще за сто лет до Декарта ответственность Луны за приливные явления правильно понимал Кеплер.¹⁹ Идея действия на расстоянии была отвергнута

¹⁸ Аристотель. Метеорологика. М., 1983. Кн. 1.

¹⁹ Я. А. Смородинский сделал здесь примечание: «К сожалению, Эйлер несправедливо оценивал Кеплера», сославшись на письмо 63. Там Эйлер пишет о том, что Кеплер, упоминая о приливах и отливах моря, сравнил их с дыханием Земли и других планет как живых существ. Несомненно, что Кеплер напоминал здесь о древнегреческом философе Платоне, который действительно считал Землю и другие планеты живыми существами, хотя и был великим философом! Сравнение это в самом деле очень яркое. Как известно, в свое время оно вдохновило и писателя-фантаста Г. Д. Уэллса написать удивительное произведение «Когда Земля вскрикнула». Думается, что и Эйлер не мог удержаться, чтобы не привести это сравнение. Однако отсюда вовсе не следует, что Эйлер не уважал Кеплера или плохо знал его труды. Как раз наоборот. Основатель Петербургской обсерватории Ж. Н. Делиль великолепно знал труды И. Кеплера и передал это знание всем своим ученикам и сотрудникам, в том числе и Л. Эйлеру. (Примеч. Н. И. Невской).

Галилеем — эфир в те времена не был популярен. Прозорливость Кеплера была необычайна. Он первый понял, что Солнце есть источник тех сил, которые отклоняют планету от прямолинейного пути, заставляя ее двигаться по эллипсу. Но пользоваться понятием силы в то время не умели: Кеплер, будучи к тому же астрологом, для которого действие планет на судьбы людей было вполне естественным, в своем раннем сочинении «Тайны неба» говорил не о силах, а о душах планет и Солнца и о воздействии Солнца на души планет. Мы можем говорить о модели душ у Кеплера, которая на этом этапе оказалась полезной для объяснения нового явления читателю, привыкшему к разговорам о душах.

Позже в «Новой астрономии» он говорит уже о силах, а «души» исчезают из его трудов навсегда. Обращение к «духовному» миру и к самому Богу оказывается в большинстве случаев приемом «заметания мусора под ковер», который служит для временного откладывания вставших на пути трудных проблем в класс явлений, не требующих немедленного объяснения. Таким методом пользовались сознательно или бессознательно многие естествоиспытатели, пользовался им и Эйлер.

На каждом этапе своего развития наука ограничивает себя искусственным барьером, создавая то, что можно назвать «кругом знаний», характерным для данного исторического этапа.

Вводя эфир как среду, передающую взаимодействие, Эйлер наделяет его и качествами, необходимыми для распространения света, а в последней части «Писем» и качествами, необходимыми для передачи электрических и магнитных сил. В «Письмах» Эйлера эфир впервые в истории науки (или по крайней мере в наиболее яркой форме) предстал как универсальная среда, которая участвует во всех физических событиях. Он создает, таким образом, прообраз волновых теорий, которые будут развиваться в начале XIX в. Хотя Эйлер очень много рассуждает о душах и Боге, но в своей модели эфира он фактически избавляется от необходимости в их участии, отводя их роль за границы знания. Такое развитие событий характерно для истории науки. Мистические элементы в науке всегда играют роль лесов, которые постепенно убираются по мере продвижения строительства.

Природа света. Эйлер противопоставил модель эфира корпускулярной теории света.²⁰ Авторитет Ньютона в XVIII в. был столь велик, что его теория истечения света затмила собой теорию колебательного эфира, развитую Х. Гюйгенсом.

²⁰ Это мнение не только Эйлера, но и Ж. Н. Делиля, М. В. Ломоносова, Г. В. Крафта, Г. В. Рихмана, Н. И. Попова и всех представителей петербургской астрономической школы, основанной Делилем. Эта школа сформировалась тогда, когда в странах континентальной Европы еще господствовало картезианство. В Петербурге же преобладали ньютоналисты, но они не разделяли мнения Ньютона о корпускулярной природе света, основываясь на лабораторных экспериментах по дифракции, которые убедили их в волновой природе света. Петербургские ученые не соглашались также и с мнением Ньютона о том, что невозможно построить линзовые телескопы и микроскопы.

В непризнании теории истечения света Эйлер следовал господствующим философским учениям Декарта и Лейбница. Однако свои аргументы Эйлер черпал не из метафизических, а из чисто физических соображений.²¹

Критикуя ньютоновскую корпускулярную теорию света, он пишет, что если бы Солнце излучало корпускулы, то оно должно было бы непрерывно терять массу, что противоречит тому, что мы знаем о Солнце. Волны же, по его мнению, не наносят Солнцу никакого ущерба. Волны, набегая на препятствия, возбуждают в телах колебания, которые и служат новым источником волновых движений в эфире. Читатель не может не видеть в этом возрождения идей Гюйгенса.

Эйлер не обсуждает вопрос, за счет чего соблюдается баланс энергии при рассеянии и поглощении света: о превращении и сохранении энергии физики того времени имели весьма смутное понятие. Эйлер выдвигал и другой аргумент против корпускулярной теории Ньютона (письмо 18). Если бы Ньютон был прав, то пространство, которое он считал пустым, было бы заполнено корпускулами, летящими с ужасной скоростью и несомненно мешавшими бы движению небесных тел.²²

Столь же решительно Эйлер защищал теорию цвета, для которой он использовал аналогию с музыкой (письмо 28). Цвет, по его мнению, определяется частотой собственных колебаний (как бы сейчас сказали) частиц освещенного тела (письмо 28). Главы о свете дают прекрасный пример того, как в XVIII в. рождались новые разделы физики.

Эйлер ошибался в оценке частоты колебаний. Он считал ее очень большой, оценивал ее в десятки тысяч колебаний в секунду. Здесь интуиция и фантазия ему изменили, хотя он мог бы, вычислив длину волны, увидеть нелепость такой оценки. Однако формулы, связывающие длину волны с частотой колебаний источника, не были в ходу в XVIII в.

Философия. Когда Эйлер раскрывает свои представления о том, как устроен мир, то ему нужно убедить читателя в истинности своих аргументов. Почти все идеи об общих законах исходили в то время от философов, поэтому Эйлеру пришлось погрузиться в философские проблемы. Это было тем более необходимо, что физики не могли сколько-нибудь надежно опираться на

²¹ Эйлер следовал не учениям Декарта и Лейбница, а серии экспериментов, проведенных в Петербургской Академии наук. Это были лабораторные эксперименты по дифракции света, проводившиеся в камере-обсуре Петербургской обсерватории, а также опыты по измерению скорости распространения света от вспышки пушечного выстрела и скорости распространения звука выстрела. Они проводились в 1727 г. После этого все работавшие тогда в Петербурге ученые стали сторонниками волновой теории света в отличие от корпускулярной теории Ньютона. Кроме того, все петербургские ученые поверили в полную аналогию между светом и звуком. Эйлер и Делиль участвовали в этих экспериментах, на основе которых Эйлер предложил модель атмосферы Земли (Подробнее см.: *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Гл. 5).

²² Сходный аргумент выдвигался позднее Ольберсом (1758—1840) против бесконечного количества звезд, равномерно распределенных в бесконечной Вселенной (парадокс Ольберса).

опыты, а речь шла о таких предметах, о которых и узнать что-либо из опытов было практически невозможно.

Мы уже говорили о проблеме протяженности и о природе сил притяжения. Обсуждение таких тем приводило к главной проблеме века — учению о монадах. Главным покровителем монад был Лейбниц. Продолжая и популяризируя его идеи, Вольф и его ученики превратили монады почти в живые существа, наделенные душой и не поддающиеся внешнему воздействию. В результате непреодолимым оказался вопрос о причинах порядка в мире. Лейбниц считал, что все, что происходит в мире, хорошо запрограммировано для каждой отдельной монады, поэтому заранее согласованное их движение производит впечатление их взаимодействия. Вольф развил эту идею дальше, приписав Богу способность непрерывно вмешиваться в поведение монад.

Эйлер резко критикует эти взгляды. В письмах 82—132 он пишет, что вольфианцы, не признавая действия одного тела на другое, запутываются в понимании причин изменения движения, упорно относя его к свойствам самих монад. Именно здесь Эйлер попадает в трудное положение. Прекрасно понимая механику, он рассматривает проблему взаимодействия души человека (мы бы сказали, сознание, воля) с его телом: желание души человека совершить какое-либо действие превращается в движение его тела.

Эйлер утверждает реальность внешнего мира и с иронией говорит о тех философах, которые могут позволить себе отрицать его существование. Крестьянин уверен в реальности старосты, а солдат — своего командира (письмо 97). Тем не менее в этом может сомневаться ученый. Обсуждение свойств монад и их отрицание составляют наиболее интересную и в то же время наиболее трудную часть писем.

Получая сведения о мире, наше тело должно общаться с нашей душой, и Эйлер считает задачей физики разобраться и в этом деле. Нам сейчас очень трудно не только принять убедительность его доказательств, но и понять существо самой проблемы. Но для времени Эйлера отношение между душой и телом служило предметом больших споров и раздумий.

Рассуждая об этом, Лейбниц иллюстрирует задачу, используя, как бы мы теперь сказали, модель часов.²³

Историю Лейбница можно рассказать так. У трех философов спросили, как они объясняют, что две пары часов, которые лежат или висят перед ними, идут столь аккуратно, точно согласуясь друг с другом? Первый из философов сказал, что часы, наверное, интенсивно взаимодействуют друг с другом; второй сказал, что, по его мнению, какой-то часовщик эти часы все время подстраивает. Наконец, третий сказал, что часы просто настолько хорошо сделаны, что сами по себе ходят точно.

²³ Лейбниц Г. Второе объяснение взаимоотношения между субстанциями // Лейбниц Г. Собр. соч. М., 1984.

Примерно таким же образом решается вопрос о теле и душе. Первый ответ — тела взаимодействуют между собой сами, без помощи души. Так полагал Ньютон, этому же следует Эйлер. Лейбниц, напротив, безоговорочно отвергает саму идею, так как он не знает способов взаимодействия между телами, которые не соприкасаются. Для Лейбница правильное объяснение — третье: дело в точности механизма, гармонии природы. Конечно, такая гармония может быть объяснена лишь мудростью и искусством Творца (как еще могли думать тогда естествоиспытатели), но на этом роль Творца и заканчивалась. Наконец, второй ответ: идея великого часовщика, непрерывно вмешивающегося в дело и поддерживающего согласованность событий и согласованность души с телом, принадлежит Декарту, ее же поддерживали вольфианцы.

Для Эйлера нет сомнения в том, что тела взаимодействуют друг с другом без участия души.

Интересно проследить по письмам, как он постепенно изолирует душу от науки. Как и всех ученых того века, Эйлера беспокоят вопросы об источниках познаний и о критерии истины. В письме 115 он вводит разделение источников истинных знаний на три рода: истины, получаемые нами из опытов с помощью органов чувств; истины, получаемые путем рассуждений, и наконец, истины веры, полученные от других авторитетных людей. Истины первого рода к нам поступают через нервную систему. Эйлер не знает, каким образом эти сведения превращаются в наши знания.²⁴ Он обходится в своих объяснениях без ссылок на душу. Стремление вольфианцев снабдить душу каждую монаду он воспринимал иронически. Зная, что ощущение передается по нервам, он прослеживает процесс познания до скопления нервных окончаний где-то в середине мозга. Именно там душа находила свое пристанище у Спинозы и Декарта. Можно сказать, что в преддверии мозга кончалась в то время рациональная физика. Обиталище души символизировало границу, до которой доводил свои изыскания ученый XVIII в. Эйлер, конечно, не был атеистом. Будучи истинным сыном века, в вопросах веры он был строг. Достаточно посмотреть письмо 90 или 114, чтобы в этом убедиться. Но он очень четко отделял вопросы науки от религии и метафизики и не пытался ссылками на Бога скрывать свое непонимание, как это было принято в то время.

Язык науки. Развитие науки требовало и создания нового языка. Эйлер понимал, что необходимо усовершенствовать методы рассуждений и доказа-

²⁴ Как информация перерабатывается в нашем сознании, почему наши знания истинны и, добавим, почему они одинаковы у всех людей, было трудной загадкой. Объяснением для Декарта была гипотеза, что источник истины можно искать только в Боге, который не может снабжать нас ложными заключениями. Но такая гипотеза требовала логического доказательства существования Бога, что и занимало как Декарта, так и Лейбница. Анализируя такие доказательства, они не столько интересовались теологическими проблемами, сколько обоснованием истинности науки, обоснованием, которое могло бы оправдать саму деятельность ученого. В следующем, XIX в., высшие силы уже не привлекались к управлению конкретными физическими явлениями и критерий истины находили в экспериментальном подтверждении теорий.

тельств. Он посвящает семь писем (102—108) графическому методу силлогизмов. К сожалению, он не доходит до применения диаграмм и эта часть писем кажется лишенной конца.

Проблема универсального языка науки волновала ученых XVIII в. Особенно много занимался этим Лейбниц. В частности, открытое им дифференциальное исчисление было примером такого нового языка.

Метод пределов Ньютона также надо рассматривать как язык, но отличный от языка Лейбница. Можно сказать, что спор этих ученых о приоритете не имел на самом деле оправдания и его корни надо искать скорее в личных качествах Ньютона, чем в науке.

Эйлер не находит пужным использовать новую математику, истинность своих взглядов он утверждал другим путем. Математические доказательства входят в физику вместе с волновой оптикой.

Читатель должен, конечно, обратить внимание на то, что Эйлер никогда не пользуется графиками. Но если заметить, что, например, в термодинамике графики (изотерма и др.) были придуманы французским инженером Клапейроном (1799—1864) лишь в середине следующего века, то можно поверить, что во времена Эйлера графики не были языком науки.

Электричество и магнетизм. Последние письма посвящены электричеству и магнитам. В них Эйлер излагает эфирную теорию электрических явлений, заканчивая изложение описанием связи грома и молнии и способов борьбы с молнией. При этом он описывает весьма опасные опыты с электричеством, явно не предполагая, что ученицы будут их повторять.²⁵

Магнитные явления для Эйлера также объясняются проявлением свойств эфира, только еще более тонкого, чем тот, который привлекался для объяснения сил тяготения и сил электрических.

Читатель должен отметить, сколь широка была пропасть между математически строгой механикой и почти разговорной физикой. Сто лет, которые отделяют «Письма» Эйлера от «Трактата» Максвелла, это годы тяжелого труда и ломки представлений о том, что такое физика и что она может делать.

Для того чтобы оценить письма, посвященные теории магнетизма, надо напомнить, что сама мысль об общей (пусть даже эфирной) природе электрических и магнитных явлений появилась лишь незадолго до «Писем». В 1759 г. в Санкт-Петербурге вышла книга Эпинуса «Опыты теории электричества и магнетизма»,²⁶ в которой и обсуждался вопрос о единой их природе.

В оптике, или, точнее, в диоптрике (науке о преломлении света), Эйлер старается быть строгим и даже ссылается на формулу геометрической оптики, связывающую расстояния до объекта и изображения с фокусным расстоянием

²⁵ Об опасности опытов с электричеством, проводившихся во Франции, Эйлера предупредил Ж. Н. Делиль. (Примеч. Н. И. Невской).

²⁶ Перевод ее: Эпинус Ф. У. Т. Опыт теории электричества и магнетизма. М., 1951. (Сер. «Классики науки»).

линзы. Однако он все же и здесь избегает выписывать формулы, явно ограничиваясь численными примерами.

В письмах о диоптрике Эйлер излагает предмет так, как до него никто не излагал. По сути дела это был первый систематический учебник диоптрики как в России, так и в Европе. Попытки Эйлера выйти за границы геометрической оптики оказываются неудачными. Так, он пытается объяснять цвет неба голубыми частицами, взвешенными в атмосфере, подобно тому как зеленый цвет воды он объясняет взвешенными зелеными частицами.

Письма обрываются письмом 234 без даты.

Можно предполагать, что в Петербурге Эйлер был занят сугубо научными исследованиями, которые он теперь мог печатать безотказно. К тому же его ученицы, которым и предназначались письма, выросли и уже не нуждались в обучении. Ведь эти письма предназначались для конкретных лиц, а не были только литературным приемом. Нам же оставлен уникальный памятник мировой культуры, отраженной в научной жизни столицы России.

Том первый

Письмо 1

¹ *Мадам!* — Принятое в то время обращение к замужним женщинам или к незамужним представительницам высшей аристократии (ученицы Эйлера были принцессы).

² *Надежда продолжить с В. В. занятия по геометрии, по-видимому, вновь не может осуществиться, что весьма для меня прискорбно.* — Занятия Эйлера с принцессами Бранденбург-Шведт в Берлине прекратились из-за их отъезда в Магдебург. Отъезд был связан с угрозой захвата Берлина в ходе Семилетней войны. Прерванные занятия продолжались в письмах, которые Эйлер регулярно посылал из Берлина в Магдебург.

³ *...например, длину стопы, или фута.* — Речь идет, по-видимому, о прусском, или рейнском, футе, равном 0.31385 м. В дальнейшем Эйлер будет писать именно о рейнском футе, делившемся на 12 дюймов (письмо 22).

⁴ *...именуемую дюймом, и сотую и даже тысячную часть — столь малую, что она почти недоступна нашему зрению.* — Строению материи и мельчайшим частицам, из которых состоит вещество, было посвящено публичное собрание Петербургской Академии наук 2 февраля 1732 г. Профессор химии И. Г. Гмелин (1709—1755) произнес там речь «О происхождении химии и особенно о том, какую пользу она приносит в изучении металлов, и что можно заключить из химического исследования тел для раскрытия их начал». Эйлер от имени Академии выступил с речью о строении материи, изложив там любопытные взгляды, которые частично содержатся и в письме. Эти материалы не были опубликованы в XVIII в. и остались в рукописи. В 1968 г. Ю. Х. Конелевич и Н. М. Раскин издали два варианта речи Эйлера в русском переводе с комментариями (см.: *Конелевич Ю. Х., Раскин Н. М. Речь Л. Эйлера о строении материи // Вопросы истории естествознания и техники. 1968. Вып. 24. С. 41—44*).

В науке XVIII в. господствовало представление о том, что пространство и время можно делить до бесконечности. Именно поэтому считалось возможным существование бесконечно малых частиц, промежутков времени и живых существ, о которых говорит Эйлер. Однако в начале XX в. была доказана принципиальная невозможность деления пространства и времени до бесконечности. Это следует из выведенного В. Гейзенбергом так называемого соотношения неопределенностей:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x \Delta p &\leq 0 \\ \Delta E \Delta t &\leq 0 \end{aligned} \right\},$$

где: Δx — неточность в измерении положения частицы, Δp — неточность в измерении импульса, ΔE — неточность в измерении энергии и Δt — неточность в измерении времени.

Таким образом, стало ясно, что, чем точнее мы будем измерять положение частицы, тем более неопределенным будет наше знание импульса, и наоборот. То же самое верно относительно измерения энергии и времени. Теперь стало ясно, что геометрические понятия точки, линии, поверхности и т. п. — всего лишь математические абстракции, которые приблизительно верно отражают пространственно-временные свойства материальных объектов. Каковы же самые малые частицы, известные в настоящее время? В начале XX в. самым малым считали радиус электрона, приблизительно равный 10^{-13} см. Затем радиус самой маленькой частицы уменьшился до величины порядка 10^{-14} — 10^{-15} см. Теперь полагают, что самыми малыми частицами должны быть объекты, радиус

которых имеет величину порядка 10^{17} см и даже 10^{33} см. Наименьший промежуток времени, который может быть измерен, по современным представлениям, составляет примерно 10^{25} сек. Самые крошечные живые организмы, известные современной науке, — это бактерии и вирусы. Наименьшие бактерии имеют диаметр порядка 45—40 нм, а вирусы — порядка 20—30 нм.

⁵ *...В. В. знает, что такое миля.* — Имеется в виду немецкая (географическая) миля, равная 7420 м.

⁶ *Отсюда до Магдебурга восемнадцать миль.* — Магдебург — главный город курфюршества Саксония, с хорошо укрепленной крепостью. Расположен на Эльбе, западнее Берлина. Крупный торговый промышленный и культурный центр, член Ганзейского союза. В XVIII в. находился под властью курфюрста Бранденбурга. Туда во время Семилетней войны переселилась семья Фридриха II и его двор.

⁷ *...30 земных диаметров...* — В переводе на метрические меры диаметр Земли, по Эйлеру, составляет около 12 730 км, что вполне соответствует современным данным. Расстояние до Луны, следовательно, оценивается в 382 000 км (в наше время средним расстоянием от Земли до Луны считается 384 000 км).

⁸ *Солнце остается неподвижным.* — Утверждение о том, что Солнце неподвижно, неверно. Оно базировалось на гелиоцентрической системе мира Н. Коперника (1473—1543), доказавшего, что Солнце не движется вокруг Земли, как полагали ранее, а наоборот, Земля обращается вокруг Солнца. Однако вскоре выяснилось, что Солнце движется. В 1718 г. Э. Галлей (1656—1742) открыл собственные движения первых звезд — Арктура, Сириуса и Альдебарана. В 1760 г. немецкий ученый И. Т. Майер (1723—1762) разработал метод обнаружения движения Солнца. На основании этого метода английский астроном В. Гершель (1738—1822) оценил в 1783 г. скорость движения Солнца вокруг центра нашей звездной системы — Галактики и определил координаты точки в созвездии Геркулеса, в направлении которой Солнце движется вместе с планетами Солнечной системы. Аналогичные оценки в том же году получил и П. Прево (1751—1839). В XIX и XX вв. эти данные были значительно уточнены. В настоящее время скорость движения Солнца в направлении созвездия Геркулеса оценивается в 19,7 км/с. Кроме того, Солнце вместе со всеми звездами нашей Галактики вращается вокруг ее центра со скоростью около 250 км/с и завершает полный оборот примерно за 180 млн лет. К тому же Солнце вращается вокруг своей оси. Период этого вращения для точек экватора Солнца составляет 25 суток, а для близполюсных областей — 30 суток.

⁹ *Расстояния, которые отделяют их [светила] от нас, без сомнения, чрезвычайно различны...* — Первые оценки звездных расстояний были сделаны Н. Коперником в 1543 г. Исходя из точности своих инструментов, которые не давали ему возможности заметить параллактического смещения звезд, Коперник пришел к выводу, что звезды расположены более чем в 1000 раз дальше от нас, чем Солнце. Х. Гойгенс (1629—1695) в «Космотеоресе», опубликованном в 1698 г., попытался оценить расстояние до Сириуса. Он установил, что Сириус в 800 миллионов раз слабее Солнца. В предположении, что Солнце и Сириус имеют одинаковую светимость, он пришел к выводу, что Сириус в 28 000 раз дальше от нас, чем Солнце. Эта оценка оказалась в 20 раз меньше истинной.

¹⁰ *Но ближайшая к нам звезда...* — Это — Проксима в созвездии Центавра. Ее параллакс равен $0''.76$ (параллакс Солнца составляет $8''.794$). Проксима Центавра была открыта в 1916 г. как спутник яркой звезды пулевой звездной величины — α Центавра. Это — слабая звездочка 11-й звездной величины, невидимая простым глазом. Она удалена от Земли на 1,31 парсека, а α Центавра — на 0,02 пс дальше. До 1916 г. α Центавра считалась ближайшей к Земле звездой.

¹¹ *...ближайшая к нам звезда, очевидно, отстоит от Земли на расстояние, в 5000 раз превышающее расстояние от Солнца.* — Мы видим, что оценка расстояния сильно занижена. В письмах 20 и 59 Эйлер назовет другую цифру: «ближайшая из неподвижных звезд удалена от нас на расстояние, в 400 000 раз большее» (чем расстояние до Солнца), а в письме 224 — третью: «в 192 000 раз».

Впервые годичный параллакс звезды, и тем самым расстояние до нее, были измерены русским астрономом В. Я. Струве в 1835—1840 гг.

По решению Международного астрономического союза, принятому в 1964 г., расстояние от Земли до Солнца, взятое за единицу измерения в Солнечной системе, так называемую астрономическую единицу, составляет 149,6 млн км. Это примерно равно 374 расстояниям от Земли до Луны или 1150 средним диаметрам Земли. Однако за пределами Солнечной системы для измерения расстояний пользуются другими, большими единицами измерения — парсеками или световыми годами. Парсек — расстояние, соответствующее параллаксу в одну секунду. Параллакс звезды — это угол, под которым со звезды можно видеть радиус земной орбиты, в предположении, что этот радиус перпендикулярен лучу зрения. Световой год — расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью примерно 300 000 км/с, проходит за год (от Земли до Солнца свет идет 8 минут). Парсек составляет 206 265 а. е., или $30,857 \cdot 10^{12}$ км, или 3,26 светового года. Световой год равен 0,3069 парсек, или 63 240 а. е., или $9,463 \cdot 10^{12}$ км.

¹² ...успехи нашего оружия... — Речь идет о Семилетней войне (1756—1763) между Австрией, Францией, Швецией, Саксонией, Испанией и Россией, с одной стороны, и Пруссией, Англией и Португалией, с другой.

Письмо 2

¹ *Литцов* — Во времена Эйлера был деревней в нескольких километрах от Берлина; ныне — окраинный район Берлина.

² *Если выстрелить из пушки...* — Здесь и далее Л. Эйлер обращается к традиционным для Петербургской Академии наук экспериментам, связанным с выяснением свойств света и звука. Проводя лабораторные опыты по дифракции света в небольшой камере-обскуре, оборудованной при Петербургской астрономической обсерватории, располагавшейся в башне над зданием Кунсткамеры, петербургские ученые убедились, что свет обладает волновыми свойствами. Для разработки теории дифракции решено было провести сравнение света со звуком. С этой целью в Петербурге в июне 1727 г. были проведены опытные стрельбы, в которых участвовали Ж. Н. Делиль (1688—1768), Д. Бернулли (1700—1782), Л. Эйлер (1707—1783) и другие сотрудники Академии. Ствол пушки был установлен вертикально вверх. Изменяя вес ядра, величину порохового заряда и длину ствола пушки, изучали скорость распространения в воздухе света вспышки и звука выстрела. Идея эксперимента была предложена первым директором Петербургской обсерватории Ж. Н. Делилем, который, лабораторию изучая дифракцию света еще в Париже, провел там (30 апреля—21 июля 1712 г.) серию экспериментов по изучению скорости распространения вспышки молнии и звука грома.

Петербургским ученым на основе опытных стрельб удалось получить предварительные оценки упругости воздуха и скорости распространения в нем света от вспышки и звука выстрела. Результаты экспериментов анализировались в работах Л. Эйлера, Д. Бернулли, Ж. Н. Делиля, М. В. Ломоносова и других ученых и в дальнейшем широко использовались. Основным выводом, к которому пришли петербургские ученые, стало заключение о волновой природе света и звука. Все работавшие в Петербургской Академии наук XVIII в. ученые были убежденными сторонниками волновой гипотезы света, хотя это мнение в корне противоречило общепринятому тогда представлению И. Ньютона (1643—1727), считавшего свет потоком корпускул. Вторым важным выводом, сделанным на основе опытных стрельб, стало заключение о полной аналогии между светом и звуком. В это свято верили все работавшие в Петербурге ученые, а также сменившие их коллеги на протяжении всего XVIII в.

Петербургские опытные стрельбы легли в основу ряда важных научных открытий. Так, был установлен предельный объем, до которого можно сжать воздух (Л. Эйлер); предложены различные модели атмосфер Земли и небесных тел (планет, комет, Солнца) (Л. Эйлер, Д. Бернулли, М. В. Ломоносов), на основании которых разрабатывалась кинетическая теория газов (Д. Бернулли, М. В. Ломоносов), различные теории света и цветов (Л. Эйлер, М. В. Ломоносов и др.), была открыта атмосфера на Венере (М. В. Ломоносов). Однако вера в полную аналогию между светом

и звуком помешала петербургским ученым понять, что свет распространяется поперечными колебаниями, а не продольными, как звук. Эта ошибка была общей для всех работавших в Петербурге ученых XVIII в., в том числе и для Эйлера. Она помешала им открыть интерференцию света и создать ту теорию дифракции и интерференции света, которая на основе их экспериментов, повторенных в XIX в., была разработана Т. Юнгом (1773–1829) и О. Ж. Френелем (1788–1827).

Л. Эйлер написал много работ на основе опытных стрельб. Их анализу посвящена статья, изданная в переводе и с комментариями А. П. Мандрыки (1918–1986), — «Размышления по поводу недавно предпринятых опытов стрельбы из орудий» (Исследования по баллистике. М., 1961. С. 497—504). В 1729 г. была опубликована на латинском языке статья Эйлера «Опыт объяснения воздушных явлений» (*Tentamen explicationis phaenomenorum aëris // Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* (1727). Petropoli, 1729. Т. 2. Р. 347—368). В статье предлагалась модель атмосферы Земли. Кроме того, с 1732—1739 гг. Эйлер начал разработку теории света и цветов. Ко всем этим вопросам он неоднократно возвращался, в том числе и в письмах к принцессам, как будет видно в дальнейшем. Подробнее: *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. Гл. 1, 5.

³ *Самая большая скорость, какая нам известна, это, без сомнения, скорость света...* — Скорость света и сегодня остается наибольшей из известных. По современным данным, она составляет в вакууме $299\,792 \pm 0.4$ км/с. Это значение принято Генеральной ассамблеей Международного союза по радиосвязи в 1957 г.

⁴ *...скорость света, равная 2 000 000 миль в одну минуту...* — По всей вероятности, автор имел в виду немецкую милю, равную 7420 м. В таком случае скорость света получается у него приблизительно равной 247 000 км в секунду.

Письмо 3

¹ *...чтобы звук распространился на 1000 футов, ему потребуется одна секунда.* — Скорость звука в водороде при температуре 0°C и давлении в 1 атмосферу составляет 1 284 м/с, а скорость звука в морской воде при температуре 20°C равна 1 490 м/с.

² *При выстреле из пушки те, кто находятся в отдалении, услышат звук лишь спустя некоторое время...* — Здесь и далее Л. Эйлер вновь возвращается к обсуждению результатов опытных стрельб 1727 г. См. также коммент. 2 к письму 2 и 1 к письму 11.

³ *В натянутой струне... можно ясно видеть эти колебательные движения...* — Л. Эйлер, Д. Бернулли и другие петербургские ученые с 1727 г. и до конца жизни весьма активно занимались задачами колебания струны, гибкой пластинки, нити, колокола и т. п. вопросами, связанными с теорией колебаний, распространением волн. В их представлении эти исследования способствовали разработке теории света и цветов, теории распространения акустических, т. е. звуковых, волн, проблем гидродинамики и разработке общей теории волновых процессов. Эти вопросы продолжали занимать петербургских ученых и после их отъезда из России.

⁴ *Звук будет правильным, как это и требуется в музыке.* — Л. Эйлер живо интересовался проблемами музыкальной акустики и разрабатывал их начиная с 30-х гг. XVIII в. В 1739 г. он опубликовал в Петербурге одну из этих работ на латинском языке: «Опыт новой теории музыки» (*Tentamen novae theoriae musicae...* Petropoli, 1739). Подробнее о музыкально-теоретических работах Л. Эйлера см.: *Герцман Е. В.* Леонард Эйлер и история одной музыкально-математической идеи // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. М., 1988. С. 321—332; *Черлюк-Аскадская С. С.* Музыкально-теоретические рукописи Леонарда Эйлера и становление его концепции теории музыки // Там же. С. 333—344.*

* Здесь и далее (см. письма 3—8) комментарии к музыкаловедческим вопросам составлены Е. В. Герцманом.

⁵ Так, звук обозначаемый знаком С... — Л. Эйлер использует такие обозначения для звуков: заглавными буквами обозначается октавный звукоряд, рассматриваемый как основной:

C	Cis	D	Dis	E	F	Fis	G	Gis	A	B	H
до	до-диез	ре	ре-диез	ми	фа	фа-диез	соль	соль-диез	ля	ля-диез	си

Теми же, на строчными буквами — аналогичный звукоряд, расположенный на октаву выше. Черточки над буквами указывают дальнейшие октавные повышения конкретных звуков: одна черточка — две октавы выше основной, две черточки — три октавы выше основной, и т. д.

⁶ ...мы не способны воспринять звук... — Современная наука дает иные сведения: низкий порог восприятия — около 16 колебаний в секунду приблизительно «до» субконтрактавы, а верхний — около 20 000 колебаний приблизительно «ми-бемоль» седьмой октавы.

Письмо 4

¹ ...такие два звука звучат в унисон, т. е. образуют самое простое созвучие... — В подлиннике Л. Эйлер употребляет слово accord — не «созвучие», а «аккорд». Под этим термином в современном музыкознании принято понимать созвучие, включающее в себя не менее трех различных звуков. В «Письмах» Эйлера речь всегда идет о созвучиях, состоящих из двух звуков. Поэтому «аккорд» здесь и далее целесообразно трактовать как «интервал». Такое соображение подтверждается и тем, что термин «аккорд» Эйлер использует как в значении «интервал» (de l'accord ou de l'intervalle), так и в значении «консонанс» (les accords ou consonances) (см. письмо 5).

² Когда наше ухо легко распознает соотношение двух звуков, их слияние называется консонансом, если же такое соотношение трудно и даже вообще невозможно обнаружить, аккорд называется диссонансом. — Аналогичную точку зрения с теми же схемами Эйлер изложил в своем основном музыкально-теоретическом труде «Опыт новой теории музыки» (кн. 2, с. 26—43) См. коммент. 4 к письму 3.

Письмо 5

¹ Чтобы заметить это созвучие, необходимо только почувствовать пропорцию... — Изучая пропорции человеческого тела, древнегреческие мыслители установили так называемое золотое сечение, или гармоническое сечение, — деление отрезка, при котором большая его часть является средней пропорциональной между всем отрезком и меньшей его частью. Выяснилось, что соблюдение этой «божественной пропорции» в произведениях архитектуры, скульптуры и других видов изобразительного искусства вызывает у человека, созерцающего их, чувство эстетического наслаждения. Вот почему соблюдение этих пропорций считалось обязательным. Установив, что между музыкальными звуками также существуют простые численные соотношения, вызывающие при их прослушивании чувство удовольствия, пифагорейцы пришли к утверждению, что «числа правят миром».

Рассматривая воздействие музыки на человека, основатель идеалистической философии Платон (429—349 до н. э.) пришел к выводу, что гармоничная музыка приводит в порядок душу, заставляет ее созерцать красоту мира, а потому и производит приятное впечатление. В то же время диссонансы, какофония, свидетельствующие о беспорядке, возмущают душу и вызывают неудовольствие. Платон признавал и влияние ритма, полагая, однако, что резкие ритмичные звуки флейты или барабана возбуждают в человеке лишь низменные инстинкты, тогда как мелодичная, гармоничная музыка — возвышает душу. Вот почему возвышающая музыка годится для свободных граждан, а флейта и барабан — музыка для рабов. Она, как хлыст, заставит их упорядоченно грести или совершать другие совместные действия во время работ.

О причине, по которой музыка доставляет людям удовольствие или неудовольствие, размышлял и И. Кеплер (1571—1630). Он полагал, что созерцание семи цветов нашего мира и слушание музыки, состоящей из семи нот, не случайно. Это — особенность той части Вселенной, которая доступна для изучения человека. Именно в этой, наиболее доступной для него форме, он может

воспринять гармонию и красоту Вселенной. Л. Эйлер и другие петербургские ученые тщательно изучали труды Кеплера, которого они высоко ценили.

²...эту пропорцию мы воспринимаем тем легче, чем меньше выражающие ее числа. — Такое утверждение высказывалось еще в древнем мире со времен пифагорейцев. Оно основывалось на том, что консонирующие интервалы — октава (2 : 1), квинта (3 : 2), кварта (4 : 3), дуодесима (3 : 1), двойная октава (4 : 1) — в музыкально-теоретической традиции всегда выражались наименьшими числами. Однако, строго говоря, речь должна идти не о величине чисел, а о простоте пропорциональных отношений между ними (например, пропорция 5844 : 2922, несмотря на сложность чисел, дает простейшее октавное отношение 2 : 1). Поэтому не случайно в конце предыдущего абзаца Эйлер, характеризуя описываемый принцип, упомянул о простоте пропорции.

³Поскольку простейшим из них [октавных созвучий] является унисон, то можно их расположить по следующим степеням. — Здесь Эйлер излагает свою знаменитую концепцию, впервые сформулированную в «Опыте новой теории музыки», где последовательность степеней созвучий определялась им как последовательность «степеней приятности» (*gradus suavitatis*) (кн. IV, § 6, с. 58), а «показатель» (*exponent*) степени приятности как «наименьший общий делитель простых звуков» (*minimum... dividuum sonorum simplicium*) (там же). Правда, в комментируемом письме Эйлер излагает только «степени» разновидностей октав, тогда как в «Опыте» представлен перечень всех созвучий. В данном письме Эйлер остановился исключительно на октавных формах, чтобы без излишнего усложнения материала дать понять ученицам, на чем базируется основной принцип «степеней приятности». С этой точки зрения октавные образования были очень удобны: октава — простейший интервал, а числовое ее выражение дает несложную пропорцию.

Письмо 6

¹Поскольку... 8 — дважды четыре, а 16 — дважды восемь. — Эйлер как истинный математик настолько углубляется в числовые выражения созвучий, что совершенно забывает о том, что пропорции являются лишь арифметическим воплощением реально существующих звуковых форм. Он искренне убежден в том, что целый ряд созвучий «ведет свое начало» от числа 2. Аналогичным образом несколько далее он пишет, что при введении чисел 3 и 5 «возникают» новые созвучия. На самом же деле от всех этих чисел «ведут свое начало» не созвучия, а пропорции, представляющие конкретные группы созвучий.

²Ибо если два локтя ткани... — Локоть — древняя мера длины, приблизительно соответствующая длине локтевой кости человека. Длина локтя колебалась от 37 см (в древней Сирии) до 223.94 см («торговый локоть» в Курляндии). Эйлер, вероятно, пользуется «пруссским локтем», равным 66.69 см, или «саксонским локтем», составляющим 56.63 см.

³...с, f, g, с будут обозначены числами 6, 8, 9, 12. — Эти числа составляют знаменитый «пифагорейский тетрак蒂斯». В античной науке их отношениями выражали «главные» интервалы: октаву (12 : 6), квинту (9 : 6, 12 : 8), кварту (8 : 6, 12 : 9), секунду, или интервал тона (9 : 8). Как говорил математик II в. Теон Смирнский, «тетрак蒂斯 содержит все созвучия» (*Theon Smyrnaei philosophi platonici expositio rerum mathematicarum ad legendum Platonem utilium* / Recensuit Ed. Hiller. Lipsiae, 1878. P. 58).

⁴Что касается других тонов музыки... — В конце этого письма вместо постоянно употреблявшегося до сих пор термина *son* неожиданно начинает использоваться *ton*. Во всех последующих письмах, в которых обсуждаются музыкально-теоретические вопросы, попеременно применяются оба термина. Как правило, они используются в одном и том же смысле — музыкальный звук. Правда, слово *ton* используется и в других значениях: как интервал тона, когда речь идет о том, что октава имеет 12 тонов (12 tons) и как «тональность», когда повествуется о «модуляции из одной тональности (*la transposition d'un ton*) в другую» (см. письмо 7).

Письмо 7

¹ ...звуковой ряд будет соответствовать основным клавишам клавиесина, которые, согласно древним, составляют род... — В древнегреческой теории музыки под термином «род (γένος)» подразумевалось тетрахордное образование: ряд последовательных четырех звуков, заключенных в рамки интервала квинты, равного $2\frac{1}{2}$ тона. В зависимости от интервального расстояния между звуками род мог быть диатоническим: (снизу вверх: $\frac{1}{2}$ тона, 1 тон, 1 тон), хроматическим: ($\frac{1}{2}$ тона, $\frac{1}{2}$ тона, 1 $\frac{1}{2}$ тона) и энгармоническим: ($\frac{1}{4}$ тона, $\frac{1}{4}$ тона, 2 тона). Хроматический и энгармонический роды имели много разновидностей (подробнее об этом см.: Герцман Е. Античное музыкальное мышление. Л., 1986. С. 83—108). Диатонический род, о котором упоминает Эйлер, состоял из следующих интервалов: $256/243$, $9/8$, $9/8$.

² ...все полутона в действительности не могут быть равными... истинная гармония проявляется осуществлению этого замысла, чуждого ее природе. — Здесь Эйлер выступает против так называемой равномерной темперации, которая в XVIII в. стала активно внедряться в теоретическое музыкознание. Потребность в равномерной темперации связана с объективными процессами развития музыкального мышления. На определенных исторических этапах возникает необходимость в полифункциональности элементов ладовых форм, когда один и тот же звук ладовой организации стремится выполнять различные функции (все остальное — лишь следствие этой потребности). Однако для такой ладовой ситуации должны быть созданы определенные акустические условия, способствующие ее реализации. Наиболее благоприятным условием является «нейтральность» интервалики, когда снижается активность тяготений звуков, находящихся на определенных интервальных расстояниях. С этой целью на рубеже XVII—XVIII вв. А. Веркмайтер и И. Нейдхардт предложили делить пифагорову комму (от греч. κομμή — «отрезок». В музыкальной акустике — весьма малый, едва различимый слухом интервал. Пифагорова комма равна приблизительно $1/9$ целого тона) между различными квинтами 12-ступенного звукоряда. В результате получилось, что в иовом строе все чистые квинты оказались уменьшенными по сравнению с квинтами натурального звукоряда на 2 цента (или на $1/100$ целого тона). Благодаря этому октаву удалось делить на 12 равных полутонов и оказалось возможным использовать модуляции в «далекие» тональности, а также всевозможные аккорды, не нарушая при этом норм восприятия. Вместе с тем темперированный строй аннулировал акустическую основу интонационного разнообразия, так как все одноименные интервалы, строящиеся на различных ступенях темперированного звукоряда, оказались равными. Свое совершенное «инструментальное воплощение» темперированный строй получил в фортепиано, которое стало активно внедряться в музыкальную практику, и, естественно, наложило отпечаток на теоретическое музыкознание. Эйлер был противником использования темперированных интервалов, так как, по его мнению, они обедняли интонационное богатство музыки и поэтому не могли служить для музыкознания феноменами, отражающими многообразие явлений художественного творчества (например, при исполнении на инструментах с нефиксированной высотой звука, при вокально-хоровом музицировании и т. д.).

³ Если бы захотели ввести еще число 7... вся музыка достигла бы более высокой степени совершенства. — Эйлер был в первом ряду тех немногих музыкальных теоретиков, которые признавали необходимость внедрения в музыкальную практику и науку интервалов, выражаемых числом 7. Как известно, впервые в их пользу высказался Марен Мерсенн (1588—1648), затем — Р. Декарт (1596—1650) и Г. В. Лейбниц (1646—1716), а Х. Гюйгенс разработал даже 31-звучную темперацию, содержащую такие интервалы (подробнее об этом см.: Vogel M. Die Zahl Sieben in der spekulativen Musiktheorie: Phil. Diss., Bonn, 1955). Это были ученые, предвидевшие расширение средств музыкальной выразительности и способствовавшие их изучению. В XVIII в. первым к ним присоединился Л. Эйлер, писавший: «До сегодняшнего дня в музыке не применялись другие созвучия, кроме тех, показатели которых состоят только из простых чисел 2, 3 и 6... Мы попытаемся вывести также [интервалы, показатель которых] 7». (Euler L. Tentamen novae theorie musicae ex certissimis Harmoniae principii dilucidatae expositae. Petropoli, 1739). Позднее примеру Эй-

лера последовали Дж. Тартини (1692—1770), Ж. Совер (1653—1716), Ж. Ж. Руссо (1712—1778) и др. Таким образом, среди ученых XVIII в. Эйлер был пионером в этом вопросе и вывел много ладовых звукорядов с такими интервалами.

Письмо 8

¹ ...удовольствие, доставляемое музыкой, сводится к восприятию порядка, который в ней господствует. — См. коммент. 1 к письму 5.

² ...музыка содержит, помимо гармонии, еще и другой элемент, подчиняющийся порядку, а именно — метр... — Как известно, в музыкознании под термином «метр» понимается временная упорядоченность движения музыкального материала с регулярно повторяющимися однотипными или сходными по структуре ритмическими последовательностями, объединенными в единые по величине группы, обнаруживающие себя постоянным чередованием ударных и безударных долей. В нотном тексте метр проявляет себя в тактах. Такая форма метрики сформировалась в последние столетия европейской музыкальной практики. Эйлер как сын своего времени признает «совершенной музыкой» только ту, которая обладает именно таким типом метрики. Он убежден, если в хорале отсутствует такая метрика, то это «несовершенная музыка» (здесь «хорал» словно олицетворяет музыку древности). Кроме того, рассуждения Эйлера о *mesure* показывают, что он обозначил этим термином не только метр, но и ритм: «музыка должна обладать гармонией и *la mesure*». Здесь подразумеваются две важнейшие сферы музыкального мышления — звуковысотная и временная, без взаимодействия которых музыка вообще немислима. Звуковысотность определяется как «гармония», этот термин в данном случае Эйлер употребляет в античном смысле — как соразмерность и взаимосвязь целого, а ритм — как *la mesure*. Следовательно, позиция Эйлера в вопросе о метрике достаточно неопределенная, так как он сближает эти индивидуальные по смыслу понятия.

³ Загадка с трубочистом, которая так понравилась В. В., также может служить мне прекрасным примером. — В оригинале Эйлера французский текст стихотворной загадки трубочиста отсутствует. Он был вставлен в русский перевод петербургским астрономом С. Я. Румовским (1734—1818). Французский оригинал воспроизведен А. Шпайзером в Полном собрании сочинений Л. Эйлера с указанием, что автором стихотворения является Antoine Houdar de la Motte (1672—1731) (*Leonhardi Euleri litterae à une princesse l'Allemagne // Opera omnia. Sér. III. Basel, 1960. V. 21. P. 24*):

J'ai vu, j'en suis témoin, croyable,
Un jeune enfant, armé d'un fer vainqueur,
Le bandeau sur les yeux, tenter l'assaut d'un coeur,
Aussi peu sensible, qu'aimable,
Bientôt appris, le front élevé dans les airs,
L'enfant, tout fier de sa victoire,
D'une voix triomphant en célébrait la gloire.
Et semblait pour témoin vouloir tout l'univers.
Quel est donc cet enfant, dont j'admire l'audace?
Ce n'était pas l'Amour. Cela vous embrasse.

⁴ Таковы, по моему мнению, истинные принципы, на которых основываются все наши суждения о достоинствах музыкальных произведений. — В «Письмах», посвященных вопросам музыкознания, Эйлер часто пишет об «истинных принципах» (*les vrais principes*) музыки, об «истинной гармонии» (*la véritable harmonie*). В этом выражается не только кредо ученого, но и цель его музыкально-теоретических исследований: найти объективные «истинные» закономерности звуковых связей, которые можно выразить математическими средствами. Не случайно одна из его статей называется «Об истинных принципах гармонии...» (*De harmoniae veris principiis... // Novi*

Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae (1773). Petropoli, 1774. Т. 18. Р. 330—353), а другая — «Об истинном характере современной музыки» (Du véritable caractère de la musique moderne // Mémoires de l'Académie roy. sci. et belles-lettres de Berlin (1764). Berlin, 1766. V. 20. Р. 174—199). Да и в основной своей музыковедческой диссертации («Опыт...») Эйлер стремится постигнуть музыкальные закономерности «на надежнейших принципах гармонии» (ex certissimis harmoniae principiis). В этом заключается одна из самых ценных сторон музыкально-теоретического наследия Л. Эйлера.

Письмо 9

¹ *В этом и заключается основное различие между воздухом и водой...* — Эйлер вновь возвращается к обсуждению петербургских опытных стрельб. О том, что вода практически несжимаема, а воздух можно сжимать до любого предела, стало известно в 1661 г., после работ ученых Флорентийской академии естествоиспытателей (Academia del Cimento), но Эйлер в 1727 г., анализируя опытные стрельбы, убедительно показал, что воздух нельзя сжимать до бесконечности, что он имеет хотя и малый, но не бесконечно малый объем.

² *...вода не поддается никакому сжатию, между тем как воздух можно сжимать до любого предела.* — О том, что вода сжимаема, стало известно в 1761 г. (т. е. в следующем году после написания данного письма) после опытов английского исследователя Кантона (John Canton, 1718—1762).

По сжимаемости вода занимает промежуточное положение между глицерином и этанолом (этиловым спиртом): при давлении 5 кбар вода сжимается приблизительно на 10%, при 10 кбар — почти на 20%; давление в 1 бар примерно соответствует 1 атм.; на дне глубочайших впадин Мирового океана давление составляет немногим более 1 кбар. Воздух достигает плотности воды под давлением около 3000 кг/см², а далее, при сильном охлаждении, становится твердым.

³ *Из всех тел, которые нам известны, самым тяжелым является золото.* — Твердость золота по Бринлю составляет 20 кг/мм², а по Моосу 2,5 кг/мм². О том, что платина тяжелее золота, было уже известно, но Эйлер об этом, по-видимому, не знал.

Письмо 10

¹ *...воздух представляет собой жидкую материю...* — Здесь Эйлер вновь возвращается к своей работе «Опыт объяснения воздушных явлений». См. коммент. 2 к письму 2.

Письмо 11

¹ *Это особое свойство, приписываемое воздуху, определяется как эластичность или упругость.* — Первые оценки упругости воздуха были получены Л. Эйлером в 1727 г. Его результаты опубликованы в 1729 г. в Петербурге на латинском языке (см. коммент. 2 к письму 2). В том же томе трудов Петербургской Академии наук была напечатана и статья Д. Бернулли «Диссертация о действии жидкостей на твердые тела и движении твердых тел в жидкости» (Dissertatio de actione fluidorum in corpora solida et motu solidorum in fluidis // Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. Petropoli, 1729. Т. 2 (1727). Р. 304—342). В этой статье, анализируя стрельбы 1727 г., Бернулли показал, что либо упругое дуновение, выделяемое горящим порохом, не должно быть обыкновенным воздухом, либо упругости должны возрастать в большем отношении, чем плотности.

С 1741 г. проблемами упругости воздуха начал заниматься и М. В. Ломоносов (1711—1765). Свои идеи он развил в серии статей, написанных в 1748—1749 гг. и опубликованных в трудах Петербургской Академии наук за 1750 г.: «Опыт теории упругости воздуха», два «Приложения»

к нему, неотправленное письмо Ломоносова к Л. Эйлеру от 5 июля 1748 г. ст. ст., но наиболее полно — в «Диссертации о рождении и природе селитры» (см.: *Ломоносов М. В.* Полн. собр. соч. М.; Л., 1951. Т. 2. С. 105—193, 219—319). Последняя работа была представлена 1 апреля 1749 г. на конкурс, объявленный Берлинской Академией наук. В данном письме Эйлер использует все эти материалы.

² *Ученые... пребывают в неуверенности относительно истинной причины силы тяжести...* — В XVIII в. физическая природа тяготения оставалась непонятной. Сторонники Р. Декарта считали, что тяготение — это давление частиц, целиком заполняющих все пространство Вселенной. И. Ньютон в отличие от картезианцев считал, что Вселенная пуста, а тяготение — сила, которая мгновенно распространяется от тел через пустое пространство по закону Ньютона, прямо пропорционально массам тел и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Однако физическую природу тяготения Ньютон не мог объяснить. Лишь в 1915 г. А. Эйнштейн (1879—1955) предложил общую теорию относительности, где дал свое объяснение природы тяготения — он рассматривал тяготение как свойство четырехмерного пространства—времени искривляться под воздействием массы тел.

³ *...отодвигая поршень все дальше.* — На практике подобные опыты неосуществимы и в наши дни, не говоря о XVIII в.

Письмо 12

¹ *После того как мне удалось доказать, что воздух является субстанцией текучей, сжимаемой и имеющей вес...* — Эйлер вновь обращается к опытным стрельбам 1727 г.

² *Если взять трубку АВ, закрытую со стороны А, наполнить ее водой... и перевернуть... то из трубки ничего не вытечет.* — Эйлер излагает известный опыт Э. Торричелли (1608—1647), открывшего в 1644 г. давление атмосферного воздуха и сконструировавшего ртутный барометр. С 1727 г. Эйлер активно участвовал в работах петербургских астрономов, проводивших метеорологические, в том числе и барометрические наблюдения, а также в конструировании разных типов барометров.

³ *...давить на воду сверху и толкать ее вниз.* — Точнее — давление воздуха перестает противодействовать силе тяжести.

⁴ *...самая настоящая пустота.* — Строго говоря, пары воды (или ртути — см. ниже в этом письме). Это — одна из причин, почему жидкостные барометры чувствительны еще и к изменениям температуры.

⁵ *...около 28 дюймов.* — 1 дюйм = 1/12 фута = 1/288 000 нем. мили, что составляет около 2.57 см. Отсюда нормальное атмосферное давление, по Эйлеру, должно составлять около 719 мм рт. столба, что гораздо ниже принятой сейчас величины (около 760). Это справедливо для плотности ртути, равной 14 (как было принято в те времена), тогда как она составляет 13.55.

Письмо 13

¹ *Я начну с духового ружья...* — Эйлер вновь обращается к опытным стрельбам 1727 г.

² *...вместо пороха применяется сжатый воздух.* — Пневматическое ружье — весьма старинное изобретение. Впервые было изготовлено в 1560 г. нюрнбергским оружейником Гуттером. С 1790 по 1815 г. австрийская пограничная стража имела на вооружении пневматические ружья системы Жирардони. Они стреляли на дистанцию не более 25 м.

³ *...огонь, который разрушает поры...* — Во время написания этих писем еще не существовала научная теория горения, разработанная А. Лавуазье (1743—1794) в 70-е гг. XVIII в.

Письмо 14

¹ *...воздух обладает еще одним весьма примечательным свойством... он подвержен изменениям под влиянием холода и тепла.* — Здесь также затрагиваются проблемы, над которыми работали Л. Эйлер и его петербургские коллеги. Они постоянно пользовались пирометрами, термометрами и барометрами разных типов, маятниковыми часами и другими всевозможными научными инструментами и приборами и даже сами неоднократно их конструировали и изготовляли. Описание этих приборов и методы наблюдения с ними регулярно печатались вместе с разнообразными наблюдениями как в газете «Санкт-Петербургские ведомости», так и в журнале «Примечания на „Ведомости“» (см.: 1731, ч. 2—10; 1732, ч. 36—38; 54—58; 1734, ч. 32—34; 45, 48, 77, 78, 90—94, 100; 1738, ч. 70 и др.). Эйлер весьма активно участвовал во всех этих работах.

² *...прибор, именуемый пирометром...* — В современной технике пирометром называется прибор для измерения температуры тел бесконтактным методом, действие которого основано на использовании теплового излучения нагретых тел. Тепловое же расширение измеряется с помощью dilatометров.

Письмо 15

¹ *...если воздух сохраняет одну и ту же температуру.* — Зависимость объема одной и той же массы воздуха от давления при неизменной температуре была установлена еще в XVII в. англичанином Р. Бойлем (1627—1691) и французом Э. Мариоттом (1620—1684), так что их труды были хорошо известны Эйлеру.

² *...воздух постоянно пребывает в неподвижности.* — Распределение температур в разных слоях атмосферы подчиняется очень сложному закону. Перемещение же воздушных масс (ветер) может происходить на значительных высотах: в основном — в тропосфере, простирающейся до высот 8—10 км, а в тропиках — до 16—18 км.

Письмо 16

¹ *...допустим, что это возможно...* — Воздушный шар братьев Монгольфье поднялся в 1783 г., и тогда же Эйлер впервые вывел формулы для подсчета подъемной силы аэростатов. Так что в этом письме рассуждения его чисто умозрительны.

² *...тридцати миллионам миль...* — Приняв 1 нем. милю за 7.4 км (см. письмо 156), получим 222 млн км, что чуть не вдвое больше величины, приведенной Эйлером в письме 1, и в полтора раза больше действительного расстояния (около 150 млн км). См. коммент. 4 к письму 224.

³ *...выше самых высоких облаков.* — Во времена Эйлера уже был известен метод параллакса для измерения больших расстояний (этот метод восходит к Копернику (1473—1543)), так что несложный эксперимент мог бы показать, что некоторые типы облаков находятся на высоте даже более 10 нем. миль.

⁴ *...солнечные лучи нагревают предметы, только если эти последние не позволяют лучам свободно сквозь них проходить.* — Эйлер обсуждает здесь вопрос о взаимодействии света с телами, о том, что Солнце может нагреть лишь те тела, которые поглощают его лучи. Исследованием этих проблем петербургские ученые, и в том числе Л. Эйлер, Ж. Н. Делиль, М. В. Ломоносов, очень много занимались в 1726—1748 гг.

⁵ *Город Кито в Перу...* — Во времена Эйлера Перу было испанской колонией, и его территория значительно превышала таковую современной республики Перу. Город Кито ныне является столицей республики Эквадор.

В 1735—1743 гг. в Кито работала Перуанская градусная экспедиция, посланная правительством Франции для выяснения вопроса об истинной фигуре Земли. Помимо этой экспедиции,

проводившей измерения в близэкваториальных районах, была отправлена вторая экспедиция в северные широты, в Лапландию. Перуанскую экспедицию возглавлял П. Бугер (1698—1750). В ней участвовали: Ш. М. ла Кондамин (1701—1774) и родственник Ж. Н. Делиля Л. Годен (1704—1760). Лапландскую экспедицию 1736—1738 гг. возглавлял Л. М. де Мопертюн (1698—1759). В ней участвовали: А. К. Клеро (1713—1765), Ш. Э. Камю (1699—1768) и ученик Ж. Н. Делиля П. Ш. Лемонье (1715—1799). По поручению правительства Швеции экспедицию сопровождал А. Цельсий (1701—1744). Обработкой результатов градусных измерений Лапландской экспедиции А. Цельсий занимался совместно с петербургскими астрономами Ж. Н. Делилем, Г. В. Крафтом (1701—1754) и др. В результате французских градусных измерений была окончательно доказана правота Ньютона, утверждавшего, что Земля должна быть сплюснута у полюсов, а не вытянута к полюсам, как полагали картезианцы.

⁶ ...на несколько дюймов ниже, чем в наших краях. — На высоте, где находится Кито (около 2700 м над ур. м.) атмосферное давление составляет около 70% стандартного. На уровне моря атмосферное давление в дюймах рт. столба — около 30. Следовательно, на высоте Кито — около 20. В мм рт. столба разность составит около 230.

Письмо 17

¹ ...что представляют собой солнечные лучи? — Эйлер вновь возвращается к традиционным для Петербургской Академии наук проблемам — теории волновых колебаний, и в частности к теории света и звука.

² Декарт Рене (Descartes Rene, 1596—1650) — великий французский мыслитель-рационалист, философ-дуалист, математик, физик и физиолог. Его влияние на последующее развитие европейской науки и философии было огромным.

³ Согласно Декарту, вся Вселенная заполнена тончайшей субстанцией... — См. коммент. 2 к письму 11.

⁴ ...солнечные лучи доходят до нас не мгновенно... им требуется около 8 минут, чтобы пройти это громадное расстояние... — См. коммент. 11 к письму 1.

⁵ Ньютон Исаак (Newton Isaak, 1642—1727) — великий английский ученый — математик, астроном, создатель небесной механики, корпускулярной теории света и один из создателей дифференциального и интегрального исчисления. Его труд «Математические начала натуральной философии» (1687) стал отправным пунктом всех работ по механике и небесной механике на протяжении более чем двух веков. См. коммент. 2 к письму 11.

⁶ Это мнение... называется теорией истечения... — Теория истечения Ньютона была общепринятой в XVIII в., и лишь петербургские ученые не разделяли эту точку зрения. Как теперь выяснилось, Солнце действительно время от времени испускает потоки частиц и плазму, но они не могут заполнить все межпланетное пространство, а тем более всю Вселенную.

⁷ ...материя Солнца должна была бы вскоре истощиться... — Каждую секунду в пространстве рассеивается около 4 млн т солнечного вещества — в виде различных излучений и потоков частиц. Однако геологические данные свидетельствуют, что по крайней мере в течение нескольких миллиардов лет Солнце светило так же ярко, как и сейчас. Поскольку масса Солнца оценивается в $2 \cdot 10^{27}$ т, жизнь его как самосветящегося тела обеспечена еще на многие миллиарды лет.

⁸ Однако уже Цицерон... — Цицерон Марк Туллий (106—43 до н. э.) — выдающийся римский оратор, адвокат и политический деятель. Приведенное изречение взято из диалога Цицерона «О природе богов» (Major I. B. De natura deorum. Cambridge, 1880. В рус. переводе: Цицерон М. Т. О природе богов // Цицерон М. Т. Философские трактаты / Пер. М. И. Рижского; сост., вступ. ст., подгот. текста Г. Г. Майорова. 2-е изд. М., 1997. С. 47—146). Эта книга входила в список обязательной литературы, с которой должен был познакомиться каждый, кого Ж. Н. Делиль допускал к наблюдениям в обсерватории. Упомянутое изречение Цицерона о том, что нет

ничего столь абсурдного, чего бы не способен был принять ученый, пользовалось в Петербурге большой популярностью. Эйлер часто (и самокритично) вспоминает его в «Письмах». Ломоносов писал о том же изречении: «Для меня же нет ничего превыше слов Цицерона» (Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. Т. 3. С. 493). Примерно такие же отзывы можно найти и у других.

Письмо 18

¹...одно из основных положений теории Ньютона: просторы Вселенной не содержат в промежутках между небесными телами никакой материи. — Это суждение Ньютона не совсем верно. Вещество в космическом пространстве распределено очень неравномерно, но абсолютной пустоты обнаружено не было, так же как и сплошной межпланетной среды, о которой думал Декарт и которая, по мнению многих ученых XVIII в., должна была оказывать сопротивление движению небесных тел. Теорией истечения Ньютона Л. Эйлер занялся в первые годы своего пребывания в Петербурге, когда вместе с другими петербургскими учеными штудировал «Оптику» Ньютона и обсуждал приведенный там 31 вопрос о нерешенных проблемах. В вопросах 18—24 обсуждалась и теория истечения. К этой теории Эйлер неоднократно возвращался и в дальнейшем.

²...что и позволяет планетам двигаться, не встречая никакого сопротивления. — К проблеме определения сопротивления межпланетной среды движению планет и комет Л. Эйлер обращался много раз, но так и не решил ее.

³...чем если бы эта материя находилась в покое. — В стремлении довести до абсурда тезис Ньютона Эйлер высказывает замечание, исполненное, с современной точки зрения, глубокого смысла. «Материя световых лучей», т. е. видимый свет, — малая часть спектра электромагнитных волн, мощным источником которых является Солнце. Таким образом, планеты Солнечной системы постоянно находятся в электромагнитном поле, которое не может не влиять на их движение.

⁴...заблуждения этого великого человека должны учить нас смирению... поднявшись на величайшую высоту... человеческий разум зачастую подвергается опасности впасть в самую грубую ошибку. — Весьма глубокое замечание, но, к сожалению, и Эйлер не избежал ошибок.

⁵Каждый раз, когда я вижу вольнодумцев, которые подвергают критике истины нашей религии... — Вольнодумцами Л. Эйлер называет главным образом французов, работавших при дворе Фридриха II. В 1741—1756 гг. работал в Берлине, а в 1746—1759 гг. был президентом Берлинской Академии наук Л. М. Мопертюи. С 1748 г. чтецом у Фридриха II работал также врач и философ-материалист Ж. О. Ламетри (Lametrie Julien Offray de, 1709—1751). В разные годы здесь бывали Ш. М. Ла Кондамин, Ж. Л. Д'Аламбер, а с 1750 по 1753 гг. — Ф. М. А. Вольтер. Все они придерживались весьма радикальных взглядов и все, кроме Ламетри, были сторонниками учения Ньютона. За это они оказались изгнанными из Франции, где господствующее положение занимали тогда картезианцы — сторонники Р. Декарта. Французские ученые были материалистами и даже атеистами (в той или иной степени). Работая в Берлине, Л. Эйлер проникся неприязнью к французским «вольнодумцам», забыв о том, что в Петербурге он и сам придерживался близких к ним взглядов. Возможно, антипатия Эйлера к выходцам из Франции, жившим в Берлине, была вызвана не столько их взглядами, сколько их манерой держаться или чем-либо другим.

Письмо 19

¹...то упругость эта должна... в тысячу раз превышать упругость обычного воздуха. — См. коммент. 2 к письму 2 и коммент. 2 к письму 11.

²...эфир также может... получать колебания и передавать их во все стороны, на самые большие расстояния. — Эфир необходим Эйлеру как среда, в которой свет распространяется подобно звуку в воздухе. Аналогия между светом и звуком таким образом оказывалась подтвержденной, а разные типы явлений удавалось объяснить по единой схеме.

³ Дым и испарения приводят, несомненно, к значительной потере вещества, но ее никак нельзя отнести за счет световых лучей. — Справедливость этого утверждения сохраняется и сегодня.

⁴ Можно... заставить светиться ртуть... От такого свечения вещество ртути несколько не убывает... — В настоящее время широко применяются ртутные лампы, в которых используется свечение паров ртути в электрическом разряде. Однако это явление, по всей вероятности, не было известно Эйлеру. Можно предположить, что он имеет в виду люминесцентное свечение жидкой ртути, открытое французским исследователем Жаном Пикаром в 1765 г. и исследованное Иоганном Бернулли.

⁵ ...теория «истечения» оказывается еще более несостоятельной, коль скоро ее пытаются применить для объяснения физических явлений. — См. коммент. 3 к письму 2.

Письмо 20

¹ Что касается распространения света через эфир, то оно происходит точно так же, как и распространение звука по воздуху. — См. коммент. 2 к письму 2.

² ...в 9 000 000 раз превосходит скорость звука, проходящего... за секунду... 1000 футов. — Скорость света указана с ошибкой на порядок (вместо 900 000). 1000 фут/с составит около 308 м/с. По современным данным, скорость звука в воздухе при 0 °C около 331 м/с.

³ ...или приблизительно шесть лет. — Расстояние до ближайшей к нам звезды — Проксимы из созвездия Центавра — около 4,3 светового года (1 св. год — около 10^{13} км).

⁴ Брауншвейг — герцогство (до 1918 г.) в Германии, ныне входит в состав земли Нижняя Саксония. Столицей герцогства был город Брауншвейг.

⁵ Иерусалем Иоганн Фридрих Вильгельм (Jerusalem Johann Friedrich Wilhelm, 1709—1789) — немецкий богослов. Его сын Карл Вильгельм (1747—1772) явился прототипом героя романа Гёте «Страдания молодого Вертера».

Письмо 21

¹ ...или 37 500 немецких миль. — Приняв немецкую милю за 7,4 км, получим около 277 500 км/с. В XVIII в. были известны результаты, полученные при измерении скорости света датчанином О. К. Рёмером (1644—1710) и англичанином Дж. Брэдлием (Брэдли) (1693—1762). Рёмер, наблюдая запаздывание затмений спутника Юпитера Ио, получил в 1676 г. значение 214 000 км/с. Ошибка вышла из-за неточности в значении астрономической единицы (146 млн км вместо 149,6) и из-за неправильного определения максимального времени запаздывания (22 мин вместо 16 мин 36 с). Для правильных значений получилось бы 300 400 км/с. В 1726 г. Брэдли при изучении видимого годичного движения звезд вычислил, что скорость света в 10 000 раз больше скорости Земли по орбите, т. е. 301 000 км/с. Первое же измерение скорости света в чисто «земных» условиях выполнил французский физик А. Физо (1819—1896): в 1849 г. он получил значение 315 300 км/с. Вслед за ним, в 1862 г., его соотечественник Ж. Фуко пришел к величине 298 000 км/с. Уже в XX в., в 1926 г., великолепный результат был достигнут американцем А. Майкельсоном (1852—1931): 299 796 км/с, что в пределах ошибки вполне соответствует стандарту, принятому в наши дни (299 776,458 км/с).

² Обычно люди... В. В. тем скорее проникаются благоговением к Творцу Вселенной, мощность которого распространяется на столь обширное пространство, где все подчинено его неограниченной власти. — Это еще один выпад против французских ученых-материалистов, работавших в Берлине. См. коммент. 5 к письму 18.

³ ...Солнце представляет собой массу, во много тысяч раз большую, чем вся Земля. — Масса Солнца составляет примерно $2 \cdot 10^{33}$ г, а масса Земли — примерно $6 \cdot 10^{27}$ г. Итак, масса Солнца примерно в 300 000 раз больше массы Земли.

Письмо 22

¹ ...для возникновения слышимого звука требуется более 30 и менее 3000 колебаний в секунду. — Воздух способен проводить колебания как более частые, так и менее частые, нежели те, что указаны Эйлером. Частотные пороги звуковой чувствительности различны у разных видов животных; у людей они также варьируют в широких пределах в зависимости от возраста и индивидуальных особенностей слуха. Принято считать, что зона слышимых человеком звуков располагается между 16 000 и 20 000 колебаний в секунду.

² ...стал бы совсем неслышимым. — Воздух способен проводить звук частотой до 10^9 гц (миллиард колебаний в секунду).

Письмо 23

¹ ...я буду иметь честь представить В. В. ...объяснение зрительного восприятия и способа формирования образов предметов на глазном дне. — Об устройстве глаза быка и человека Эйлер пишет по опыту собственных исследований. В Петербурге проблемам строения органа зрения животных и человека, а также изучению процесса зрения придавалось особое значение. Для проведения тонких астрофизических исследований, включавших как лабораторные эксперименты по дифракции света, так и астрономические наблюдения цветовых эффектов, петербургским астрономам необходимы были микроскопы и телескопы, не дающие окрашенного изображения предметов, так называемые ахроматы. Однако в XVIII в. таких ахроматов делать еще не умели, а Ньютон даже утверждал, что устранение хроматизма стеклянных объективов принципиально невозможно. Это заставило петербургских ученых начать самостоятельные исследования. Они включали тщательное изучение литературы по оптике и анатомии, а также экспериментальное исследование процесса зрения. Активное участие в этих работах принимал и друг Эйлера Д. Бернулли, который добился приглашения в Петербург юного Эйлера в качестве своего помощника. Готовясь к исследованиям по физиологии зрения, Эйлер перед отъездом в Петербург специально изучал в Базеле физиологию. Так началась научная карьера великого математика.

Штудирова «Оптику» арабского ученого Ибн ал-Хайсама (965—1039), латинский перевод которой находился в академической библиотеке, петербургские ученые нашли описание человеческого глаза, состоящего из четырех преломляющих сред. В Петербурге представлялась уникальная возможность, которой не имели ученые других стран того времени, не только проверить эти слова, но и сравнить строение человеческого глаза со строением глаз других животных. Дело в том, что в Петербургской Академии наук находилась богатейшая в мире коллекция анатомических препаратов голландского ученого Ф. Рюйша (1638—1731), купленная Петром I в 1717 г., а затем переданная Академии. Коллекция Рюйша, описание которой составлял анатом И. Г. Дювернуа (1691—1759), включала 109 препаратов глаз человека, теленка, кита, курицы и лягушки. Дювернуа добавил к ним препараты глаз слона, мухи, ночной совы и тюленя.

Эти исследования позволили убедиться в том, что природа, создавая орган зрения, шла от простого к сложному. Так, глаз скорпиона состоит всего из одной линзы, к тому же не очень хорошей. С развитием животного мира совершенствовался и орган зрения, в котором добавлялись новые преломляющие среды. Наиболее совершенный глаз имеет человек. Этот глаз состоит из четырех преломляющих сред. Так петербургским ученым удалось найти метод усовершенствования стеклянных объективов. Надо было лишь воспользоваться «патентом природы», как это делают современные бионики. Для создания ахроматических объективов следовало подобрать несколько линз с разными коэффициентами преломления. Именно таким путем и пошли петербургские ученые. Эйлер принимал в этих работах активное участие. Так, он выполнил в 1727 г. ряд лабораторных исследований и расчетов. Над этими проблемами Эйлер непрерывно думал все годы, и лишь в 1749 г., уже в Берлине, опубликовал статью «Об усовершенствовании объективов телескопов», где четко излагался метод создания ахроматов и говорилось о том, как Эйлер пришел к этому методу, изучая стро-

ение глаза. Ученый детально рассчитал объективы как телескопов, так и микроскопов. На основе его теории такие объективы были построены для телескопов английским оптиком Дж. Доллондом (1706—1761) в 1769 г., а для микроскопов в 1784 г. Ф. У. Т. Эпинусом (1724—1802), представителем петербургских ученых следующего за Эйлером поколения. Подробнее см.: *Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. Гл. 1, 5.*

² *Если быт шаром о борт бильiardного стола, шар от него отскакивает, т. е. отражается, и это явление называют отражением.* — Далее Л. Эйлер излагает объяснение явления отражения света, которое Ньютон в своей «Оптике» положил в основу корпускулярной гипотезы света. Действительно, при отражении и преломлении свет проявляет свои корпускулярные свойства, тогда как в явлениях дифракции и интерференции он проявляет свои волновые свойства. В XVIII в. большинство ученых вслед за Ньютоном придерживалось корпускулярной гипотезы света. Исключение составляли лишь петербургские ученые, занимавшиеся исследованиями по дифракции света, а потому знавшие, что свет обладает волновыми свойствами. Когда в XIX в. большинство ученых занялись изучением дифракции и интерференции света, общепринятой стала волновая гипотеза, выдвинутая еще Х. Гюйгенсом в XVII в. Лишь в начале XX в. благодаря работам М. Планка (1858—1947) и А. Эйнштейна стало ясно, что свет представляет собой поток фотонов, т. е. так называемых квантов света, которые обладают как свойствами волны, так и свойствами частицы. Однако оба этих свойства не могут проявляться одновременно, а лишь в разных экспериментах. Итак, частица света оказалась «микроректентром».

Письмо 24

¹ *...никогда не дадут нам изображения самого зеркала.* — Строго говоря, то, что мы видим, глядя на зеркало, есть изображение самого зеркала хотя бы потому, что идеально отражающая поверхность невозможна. Часть лучей либо поглотится, либо рассеется.

² *...шея голубя и некоторые сорта тканей меняют свой вид в зависимости от того, откуда мы на них смотрим.* — Упомянутые автором изменения цвета и «вида» в зависимости от положения объекта относительно наблюдателя и, добавим, источника света обусловлены явлениями дифракции света на правильно повторяющихся структурах, содержащихся, в частности, в птичьем пере.

³ *...благодаря лучам, отраженным от их поверхности.* — Все предметы («темные» и «светлые») видны только потому, что отражают часть лучей оптического диапазона. В расчет следует принимать то, какая часть лучей отражается (рассеивается), какая поглощается.

⁴ *Но физики, более тесно связанные с математиками, скорее способны изменить свое мнение перед лицом столь основательных аргументов.* — Здесь Эйлер четко сопоставляет философов-схоластов, лишь рассуждающих о неизвестных для них по собственному опыту явлениях, с естествоиспытателями, которые изучают явление в эксперименте и создают приемлемую для его объяснения математическую теорию. Именно так привык работать в Петербургской Академии наук Эйлер, который здесь явно присоединяется к естествоиспытателям.

⁵ *...которую не смог бы отстоять какой-либо философ...* — См. коммент. 8 к письму 17.

⁶ *Я надеюсь объяснить... так, что В. В. легко сможет все понять.* — Здесь Эйлер пронизывает над схоластами, стремящимися скрыть свое невежество за темными наукообразными фразами. Работая в Петербурге, Эйлер прошел хорошую школу в местной обсерватории. Ее директор Ж. Н. Делиль считал весьма полезным для науки привлекать к разработке ряда сложных проблем всех желающих, в том числе и неспециалистов, свободных от присущих профессионалам предубеждений. Однако для этого необходимо было сформулировать задачу просто и понятно каждому. Тот, кто мог, предлагал свои способы улучшить дело. Тот же, кто был неспособен предложить что-либо новое, по крайней мере проникался уважением к труду ученых. Именно так Делиль привлек и Эйлера к усовершенствованию астрономических и физических инструмен-

тов, в частности ахроматов (см. коммент. 1 к письму 23). Кроме того, Делиль постоянно напоминал, что даже великие ученые могут ошибаться, и считал изучение таких ошибок и тупиковых путей в истории науки полезными и поучительными, — чтобы не повторять их в дальнейшем. Естествоиспытатель Эйлер, прошедший такую школу, разделял взгляды петербургских ученых. Его раздражало схоластическое умствование французских «вольномыслющих» при дворе Фридриха II (подробнее см.: *Невская Н. И.* 1) Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. С. 161 —167; 2) Новые данные о становлении Л. Эйлера как астронома и историка науки // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. М., 1988. С. 259—276).

Письмо 25

¹ *...источник, который находится не в самом предмете, а в освещении.* — В современных терминах отражение света есть явление, заключающееся в том, что при падении света из одной среды на границу ее раздела со второй средой взаимодвижение света с веществом приводит к появлению световой волны, распространяющейся от границы раздела обратно в первую среду. Легко видеть, что это определение в сущности трактует вопрос об освещении несамосветящихся тел точно так же, как это делал Эйлер (есть ли разница между «возбуждением, носящим вторичный характер» и «взаимодвижением света с веществом»?).

Письмо 26

¹ *Аналогия между звуком и светом... эта аналогия, говорю я, позволит мне выполнить мое обещание.* — Здесь Эйлер очень ясно высказывается о том, как на основании аналогии между светом и звуком он разработал новую теорию волновых явлений. Дальше он формулирует и свое отношение к теории музыки как к одному из разделов общей теории волновых процессов. Основные положения этой теории Эйлер наиболее полно изложил в своей работе «Новая теория света и цветов», опубликованной в Берлине в 1746 г. на латинском языке. См. также коммент. 2 к письму 2; 2 и 4 к письму 3; 1 к письму 11.

² *может ли натянутая струна, находящаяся в покое, но в окружении звучащих инструментов... начать звучать...?* — Это так называемое явление реверберации (от лат. *reverbero* — «отражаю», «отбрасываю»).

³ *Рамо Жан Филипп* (Rameau Jan Filipp, 1683—1764) — французский композитор и теоретик музыки.

Письмо 27

¹ *...достаточно осветить предмет, чтобы мельчайшие его частицы восприняли колебательное движение...* — Здесь и далее Эйлер излагает материал своей работы «Новая теория света и цветов». См. коммент. 2 к письму 2; 2 и 4 к письму 3; 1 к письму 11; 1 к письму 26.

² *...такого рода явления действительно происходят в веществах, представленных В. В. нашим г-ном Маргграфом... если их осветить, а затем перенести в темную комнату, [они] продолжат еще некоторое время светиться.* — Маргграф Андреас Сигизмунд (Marggraf Andreas Sigismund, 1709—1782) — химик, директор отделения экспериментальной философии Берлинской Академии наук. В 1764 г., изучая стекла, изготовленные И. Э. Цейгером (1720—1784), Маргграф нашел способ устранять помутнение свинцовых стекол. Вероятно, Маргграф представлял Эйлеру и его ученикам различные лабораторные инструменты и все необходимое для демонстрации экспериментов, о которых шла речь на занятиях.

Письмо 28

¹ Если послушать, что говорят ученые, то можно подумать... хотя на самом деле они знают не больше крестьянина, а может быть, еще меньше. — Вновь выпад против философов-схоластов. Весьма знаменательно, что Эйлер сравнивает их с крестьянином, который всегда считался носителем природного здравого смысла. Его-то как раз и не хватало порой философам, с которыми Эйлер встречался в Берлине.

² ...когда нервы глазного дна подвергаются воздействию тех же самых лучей... — Первой работой, в которой принял участие в Петербурге 20-летний Эйлер, был эксперимент с оптическим нервом. Результаты этих исследований опубликованы в статье руководителя работ Д. Бернулли (на латинском языке). Она называлась: «Эксперимент с оптическим нервом» (*Bernoulli D. Experimentum circa nervum opticum // Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* (1726). Petropoli, 1728. T. 1. P. 314—317).

³ Аналогия между звуком и светом столь хорошо обоснована... — Еще одно воспоминание о работах в Петербурге!

⁴ ...различные цвета соответствуют различным музыкальным звукам. — Опять обращение к аналогии между светом, цветом и музыкой.

⁵ ...можно пользоваться камерой-обскурой. — Камера-обскура от латинского camera-obscura («темная комната») — специально оборудованное затемненное помещение, куда свет проникает лишь через маленькое отверстие. Проектируя световой луч на призму или дифракционную решетку, можно разложить белый свет в спектр и, отбрасывая изображение на экран из белой бумаги, детально его изучать. С помощью камеры-обскуры получаются изображения любых объектов, находящихся снаружи.

Этим пользовались и художники, как правильно пишет Эйлер, однако свет в камеру они пропускали не через линзу. Такую камеру-обскуру оборудовал в Петербургской астрономической обсерватории ее основатель Жозеф Николя Делиль (*Delisle Joseph Nicolas*, 1688 - 1768), приглашенный из Парижа лично Петром Великим. В этой камере-обсуре Делиль демонстрировал лабораторные эксперименты по дифракции света, проводил наблюдения солнечных пятен и т. д. На свои наблюдения и эксперименты Делиль приглашал всех желающих, не только сотрудников Академии наук, но также студентов академического университета и учеников академической гимназии. Наблюдения в камере-обсуре пользовались огромной популярностью среди петербургской научной молодежи. Эйлер также проводил там систематические исследования; в частности, в 30-е гг. XVIII в. он наблюдал солнечные пятна по программе, разработанной Ж. Н. Делилем в статье «Полезные эксперименты по теории света для астрономии» (подробнее об этом см.: Источники по истории астрономии России XVIII в. / Сост. и пер. Н. И. Невской. СПб., 2000. Т. 1. С. 320—326).

Благодаря этим лабораторным экспериментам все петербуржцы считали свет волновым явлением. Эксперименты 1727 г. по распространению в воздухе звука от выстрела пушки и света от вспышки привели петербургских ученых к выводу об аналогии между светом и звуком, что было, к сожалению, ошибкой, общей для всех петербургских ученых XVIII в. Делиль провел подобные эксперименты в Париже в 1713 г., сравнивая скорость распространения света от вспышки молнии со скоростью звука грома. В Петербурге Делиль широко открыл двери обсерватории, следуя завету Петра I, поставившему перед Академией наук три задачи: 1) всемерное развитие наук; 2) подготовка русских научных кадров и 3) распространение научных знаний, чтобы «через обучение и распространение оных польза в народе впредь была» (История Академии наук СССР. М.: Л. 1958. Т. 1, ч. 1. С. 429). Последнее требование Петра было связано с неудачной попыткой московской Навигацкой школы, основанной в 1701 г. Как известно, первый астроном-наблюдатель этой школы Я. В. Брюс (1675—1735) считался в Москве чернокнижником и колдуном, от которого люди шарахались. Петр же хотел «приохотить» их к науке, а для этого следовало убедить россиян в полезности этого нового для страны рода деятельности. Петербургской Академии наук удалось выполнить эту задачу. Здесь были воспитаны первые русские ученые, а Ж. Н. Делиль основал

первую научную школу России — петербургскую астрономическую школу XVIII в. Через нее прошли также Л. Эйлер, М. В. Ломоносов, Н. И. Попов, А. Д. Красильников и многие другие (Подробнее см.: *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. Об экспериментах в камере-обскуре см. гл. 5: Астрофизика. С. 143—149). 20 июля 1748 г. Л. Эйлер уже в Берлине наблюдал кольцеобразное солнечное затмение, также с помощью камеры-обскуры. Неудивительно, что он захотел описать простейшие эксперименты в камере-обскуре и своим ученикам (описание камеры-обскуры см. в письмах 194, 195).

Камера-обскура была в XVIII в. также и весьма распространенным салонным развлечением.
⁶...синие лучи не способны порождать красный цвет... — Эйлер противоречит сам себе, утверждая (в письме 24), что «темный предмет... сохраняет всегда одни и те же цвета, как бы его ни осветить».

Письмо 29

¹...если посмотреть в микроскоп, то обнаружится, что мельчайшие частицы любых предметов — прозрачны. — Петербургские ученые уделяли большое внимание экспериментам по исследованию преломления в средах с различной прозрачностью, так как они были связаны с разработкой ахроматических объективов телескопов и микроскопов и входили в программу Делиля, изложенную в его статье «Польза экспериментов по дифракции света для астрономии». Работая в Петербурге по этой программе, Эйлер написал статью «О рефракции лучей света» (1738), которая при его жизни не была опубликована и сохранилась лишь в архиве Делиля. Теперь ее можно прочесть в русском переводе. (См.: Источники по истории астрономии России XVIII в. / Сост. и пер. Н. И. Невской. СПб., 2000. Т. 1. С. 375—385, 390—391).

²...если смотреть через... законченное стекло на Солнце, оно будет видно вполне отчетливо. Именно этим способом пользуются астрономы... — Таким способом неоднократно пользовался и Л. Эйлер, работая в Петербурге, а затем и в Берлине.

Письмо 30

¹ Согласно теории истечения... — Здесь критикуется ньютоновская теория истечения с позиций петербургских ученых. Свою теорию Л. Эйлер наиболее полно изложил в работе «Новая теория света и цветов», опубликованной уже в Берлине: *Euler L. Nova theoria lucis et colorum // Opuscula varii argumenti.* Berlin, 1746. Bd 1. S. 169—244.

Письмо 31

¹ В. В. только что убедились в том, что, когда луч света переходит наклонно из одной прозрачной среды в другую... — Эйлер вновь вспоминает наблюдения в камере-обскуре Петербургской обсерватории, где исследования велись именно так, как он описывает здесь и дальше.

² По степени преломления они располагаются так: 1) красный цвет, 2) оранжевый, 3) желтый, 4) зеленый, 5) синий, 6) фиолетовый. — Эйлер называет лишь 6 цветов: во французском языке два цвета, синий и голубой, обозначаются одним словом — *bleu*. То же, собственно, характерно и для всех европейских языков. Так, например, в немецком оба цвета обозначаются словом *Blau*. В английском — словом *blue*, в итальянском — *blu*, или *azzurro*.

³ Возможно, другой народ, обладающий более богатым запасом слов, насчитывает больше различных цветов, чем мы... — Так, например, в русском языке есть для голубого цвета специальное слово, не похожее на слово, обозначающее синий цвет.

⁴ *Основываясь на этом принципе, отец Кастель...* — Кастель Луи Бертран (Castel Louis Bertran, 1688—1757), паптер-иезуит. В 1724 г. опубликовал трактат о всемирном тяготении. Всю жизнь конструировал свой «окулярный клавесин», на котором разорился. У современников клавесин вызывал любопытство, однако Эйлер относится к нему скептически. Идею цветомузыки с большим энтузиазмом пропагандировал русский композитор А. Н. Скрябин (1872—1915). Ср. воплощение идеи в нынешних пышных рок-шоу с применением лазерной светотехники.

⁵ *...скорее уж живопись может представить для глаза то же самое, что музыка для ушей. И я сильно сомневаюсь в том, что изображение нескольких кусков сукна, окрашенных в разные цвета, могло быть столь уж приятным.* — Эйлер весьма скептически отзывается о цветомузыке, однако она может быть очень интересна. В свое время клавесин Кастеля, как уже сказано, вызвал большой интерес.

Письмо 32

¹ *...небо не является синим сводом, усеянным звездами, как блестящими шляпками гвоздей. — Синий свод неба, усеянный звездами как светящимися шляпками золотых гвоздей, — именно так выглядело звездное небо в «Христианской топографии» александрийского купца VI в. Козьмы Индикоплова, ставшего впоследствии византийским монахом. Перевод этой книги был весьма популярен в России незадолго до основания Петербургской Академии наук. С подобными взглядами Эйлер и его петербургские друзья активно боролись, регулярно публикуя статьи в издававшихся Академией наук в 1728—1741 гг. газете «Санкт-Петербургские ведомости» и приложениях к ней — журнале «Примечания на „Ведомости“».*

² *...причину этой синевы неба следует искать в нашей атмосфере, поскольку она не совершенно прозрачна.* — Атмосфера Земли действительно далека от полной прозрачности. Именно на этом основании Л. Эйлер и построил свою модель атмосферы-облака.

³ *Воздух содержит... мелкие частицы, которые не совсем прозрачны... будучи освещены, [они] сами становятся видимыми. Цвет этих частиц — синий.* — Синий цвет неба был объяснен английским ученым С. Д. В. Рэлеем (1842—1919), который показал, что солнечный свет рассеивается на молекулах воздуха, причем интенсивность света ослабевает при этом обратно пропорционально четвертой степени длины волны.

⁴ *Гарц* — горный массив в Германии.

⁵ *Хальберштадт* — город в Германии на юго-западе от Гарца, *Магдебург* — на северо-востоке.

⁶ *...на большом пространстве... когда мы смотрим в глубину моря, столь большое количество зеленоватых лучей, собранных вместе, дают ощущение интенсивного цвета.* — Цвет моря — цвет, воспринимаемый глазом, когда наблюдатель смотрит на поверхность моря. Однако Эйлер имеет здесь в виду цвет морской воды, т. е. цвет, воспринимаемый глазом при отвесном осмотре морской воды над белым фоном. От поверхности моря отражается лишь незначительная часть падающих лучей. Остальная часть лучей проникает вглубь, где поглощается и рассеивается молекулами воды, взвешенными в воде частицами и мельчайшими пузырьками газов. Отраженные и выходящие из моря рассеянные лучи и создают цвет моря. Молекулы воды сильнее всего рассеивают синие и зеленые лучи. Взвешенные частицы почти одинаково рассеивают все лучи. Поэтому морская вода с малым количеством взвесей кажется синие-зеленой — цвет открытых частей океана, а вода со значительным количеством взвесей — желтовато-зеленой. Теория вопроса подробно разработана советским океанологом В. В. Шулейкиным (р. 1895) и индийским физиком Ч. В. Раманом (1888—1970).

Письмо 33

¹ ...пользуются одним и тем же наименованием... — Французское слово *rayon*, означающее одновременно «луч» и «радиус», происходит от латинского слова *radius* (промежуточная форма старофранцузского языка — *rayu*). Уже в латыни слово *radius*, означавшее «луч», было использовано для геометрического понятия «радиус».

² ...диаметр Солнца... диаметр Земли. — В метрических мерах диаметр Солнца, по Эйлеру, — около 1 273 000 км, а Земли соответственно в 100 раз меньше: 12 730.064 км. По современным данным, поперечник Солнца составляет около 1 392 000 км, а Земли — около 12 740 км, т. е. приблизительно в 109 раз меньше.

Письмо 34

¹ ...расстояние от нас до Луны. — Среднее расстояние от Земли до Солнца — около 149 600 000 км, до Луны — около 384 000 км, т. е. меньше приблизительно в 390 раз.

² Шарлоттенбург — некогда город близ Берлина, ныне — западное предместье Берлина.

³ ...пользоваться своим зрением надлежащим образом. — Описанный случай хорошо согласуется с современными представлениями о восприятии зрительных образов. Психофизиологи различают так называемые видимый мир и видимое поле. «Видимое поле» — образ, ограниченный горизонтально ориентированным овалом, «расчерченным» на пятна различных размеров и цветов. К восприятию же «видимого мира» с его трехмерностью человек приходит по мере приобретения жизненного опыта, накопив и переработав огромный объем информации, полученной не только от органов зрения, но и от других рецепторов. Зрительный образ — продукт деятельности всей нашей нервной системы.

Письмо 35

¹ ...скептицизмом, или пирронизмом. — Скептицизм — теория, высказывающая сомнение в возможности достижения истины. Возник еще в античной философии, где был представлен Пирроном, Тимоном, Энесидемом и др. (систематизирован Секстом Эмпириком). Идеи скептицизма, высказывавшиеся Монтемом, Шарроном, Бейлем и др., сыграли большую роль в борьбе против средневековой схоластики. С другой стороны, в философии Юма, Канта скептицизм принимает такую форму, которая приводит к агностицизму.

С критикой этого направления Эйлер и его друзья выступали на страницах петербургского журнала «Примечания на „Ведомости“».

² ...зрение нас обманывает, и все другие органы чувств — тоже... — Именно такого мнения придерживались многие философы, в том числе и основатель идеалистической философии Платон (см. коммент. I к письму 5). Он полагал, что зрение является самым ненадежным из наших органов чувств, хотя и остальным чувствам особенно доверять нельзя. Правда, чрезмерно подчеркивая ненадежность информации, даваемой нашими органами чувств, Платон стремился повысить тем самым роль человеческого разума, который один лишь может извлечь надежные сведения из столь ненадежного источника. Мнение Платона время от времени находило сторонников и в последующие столетия. В настоящее время убедительно доказано, что с помощью зрения мы получаем более 90% всей информации о внешнем мире, причем довольно достоверной. К тому же выяснилось, что глаз развился из той же нервной пластинки, что и мозг, как показал в 1828 г. петербургский академик К. М. Бэр (1792—1876). Это дало основание говорить, что глаз — часть мозга, высунувшаяся наружу для того, чтобы полюбопытствовать, что творится в мире. Теперь доказано, что глаз не просто «фотографирует» объекты, изображение которых попадает на сетчатку глаза, но и производит первичную обработку полученной информации, а также ее отбор и

проверку, прежде чем эта информация поступит в мозг. Итак, глаз как бы «обдумывает» полученные им сведения об окружающем мире. Острые приведенных в письме рассуждений Эйлера направлено против тех современных ему философов, которые довели до абсурда сомнения своих древнегреческих коллег. Они стали утверждать, что человек вообще ничего не может узнать об окружающем его мире. Как естествоиспытатель, многие годы изучавший законы Вселенной и убеждавшийся в том, что эти законы можно познать весьма объективно, Л. Эйлер счел себя оскорбленным и решил дать отпор подобным взглядам. Как стихийный материалист, он не сомневался в реальности окружающего мира и в возможности познать его довольно верно.

³ *...если... муха пролетит близко от наших глаз... мы можем принять ее за орла.* — Подобная иллюзия эффектно описана Эдгаром По в рассказе «Сфинкс»: герой принял бабочку, ползущую по оконному стеклу у него перед глазами, за огромное чудовище,двигающееся по склону отдаленного холма.

⁴ *...когда Солнце или Луна находятся высоко в небе, мы не видим между ними и нами никаких объектов, и поэтому считаем, что они ближе к нам.* — В настоящее время эту знаменитую оптическую иллюзию объясняют точно так же, как Эйлер. Видимое увеличение размеров лунного и солнечного диска у горизонта убедительно показывает, что глаз «вносит поправки» в первоначальное изображение, создаваемое на сетчатке глаза его оптической системой, поправки, не всегда верные. Так, видя Луну или Солнце рядом с горами и зданиями, мы увеличиваем размеры небесных тел, зная, что они гораздо больше, чем дома и горы. Видя Солнце и Луну близ зенита, где нет гор и домов, мы такие поправки не вносим. То же самое можно сказать о мухах и бабочках, видимых близко к глазу. Если глаз видит их на фоне гор или домов, то они кажутся огромными. Стоит лишь понять, что они ползут по оконному стеклу близ глаза, а вовсе не по далекой горе, как «чудовища» мгновенно уменьшаются в размерах. Таким образом мы еще раз убеждаемся, что смотреть и видеть — не одно и то же. Тот, кто больше знает об окружающем мире, больше в нем и увидит, да к тому же его информация будет более верной.

⁵ *...в живописи один и тот же объект кажется нам более удаленным, если он слабо освещен; поэтому и Луна на горизонте...* — Эйлер имеет в виду ослабление света Солнца, Луны и звезд, когда они наблюдаются у горизонта. Участвуя в работах Петербургской астрономической обсерватории, он хорошо знал, что толщина земной атмосферы у горизонта больше, чем у зенита. Именно поэтому свет небесных тел у горизонта поглощается, а ослабляется сильнее, чем у зенита. Точно так же и атмосферная рефракция, изучением которой он много занимался в Петербурге вместе с тамошними астрономами, у горизонта проявляется гораздо заметнее, чем в зените. Именно поэтому астрономы и стараются вести наблюдения по возможности ближе к зениту.

Письмо 36

¹ *...когда лучи света распространяются прямолинейно, что и составляет предмет оптики.* — Оптика (от греч. *ὀπτική* «зрительный», «относящийся к зрению») — наука о зрении. В «Письмах» Эйлер называет оптикой не всю эту науку, а лишь небольшой ее раздел — так называемую геометрическую оптику по современной терминологии.

² *Та [наука], в которой рассматриваются явления, вызванные отражением лучей, называется катоптрикой, а та, в которой изучают преломление лучей, или рефракцию, — диоптрикой.* — Диоптрика от греч. *διόπτρις* — «учение о визировании» — устаревшее название раздела оптики, изучающего преломление света, проходящего через преломляющие поверхности и их системы. Эйлер и его петербургские друзья уделяли большое внимание всем разделам оптики. Однако Эйлер больше всего трудов опубликовал по диоптрике в связи с разработкой теории ахроматических телескопов и микроскопов. В «Примечаниях на „Ведомости“» — журнале, издававшемся Петербургской Академией наук в 1728—1742 гг. параллельно на русском и немецком языках, была опубликована серия статей, посвященных проблемам катоптрики, диоптрики, зажигательным

зеркалам и усовершенствованию телескопов (см. «Примечания» за 1735 г., части: 52—54, 56, 58—60). Эйлер принимал самое активное участие в подготовке этих материалов, которые он использовал затем в «Письмах к немецкой принцессе», см. письма 36—40.

Письмо 39

¹ ...это изображение называется очагом, или фокусом. — По французски «очаг» и «фокус» (линзы, зеркала и т. д.) называются одним словом — *foyer*. Первоначальное значение слова *foyer* — «очаг» (от латинского *focus* — «очаг»).

В оптике точка, в которой собирается прошедший через оптическую систему пучок световых лучей, падающих на систему параллельно ее главной оси. Каждая оптическая система имеет два фокуса — передний, в пространстве предметов, и задний, в пространстве изображений.

² ...а *вогнутые* — в *прямом*. — Сейчас мы бы сказали: в данных условиях собирающая линза («выпуклая» по Эйлеру) дает обратное и действительное изображение, а рассеивающая («вогнутая») — прямое и мнимое. См. письма, посвященные оптике: 187 и последующие.

Письмо 40

¹ ...такие линзы — большая редкость. — Речь идет об астрономических линзах, которые продавались в Берлине вдовой умершего механика Бумлера. 24 мая 1749 г. Эйлер сообщил И. Д. Шумахеру (1690—1761), библиотекарю и советнику Канцелярии Петербургской Академии наук, о том, что продаются весьма высокого качества (*sic!*) линзы, которые могли бы весьма пригодиться Академии (см. письмо Эйлера к Шумахеру от 24 V 1749 г. в: Леонард Эйлер: Переписка: Анонимированный указатель. Л., 1967. С. 277). По настоянию Эйлера они были куплены за 303 рейхс-талера в 1751 г. (см. письмо Шумахера к Эйлеру от 26 I /6 II 1751 г. (Там же. С. 281)).

² Художники пользуются таким приспособлением, когда они рисуют пейзажи. — Камера-обскура была оборудована при астрономической обсерватории Петербургской Академии наук. Подробнее о ней см. коммент. 5 к письму 28. Линзу (сквозь которую луч света впускался через крошечное отверстие в ставне), упоминаемую Эйлером, предложил использовать Ж. Н. Делиль. Это было важное усовершенствование, позволившее петербургским ученым исследовать дифракцию света во всех деталях. Художники этой линзой не пользовались, так как до Делиля о ней не знали. По-видимому, Эйлер говорит о каких-нибудь петербургских или берлинских художниках, которые знали о линзе Делиля. Их имена нам неизвестны.

Письмо 41

¹ ...обладал бы столь совершенным устройством, как наш глаз {...} какая только может быть у человека... — Эйлер повторяет этот гимн человеческому глазу, который он включил в свою статью «Об усовершенствовании объективов телескопов». Вот источник... из которого я постарался позаимствовать для усовершенствования объективов... я убедился, что в наших глазах находятся различные жидкости, расположенные таким образом, что не дают никакой диффузии фокуса. По моему мнению, это совершенно новый предмет в устройстве глаза, достойный удивления» (*Euler L. Sur la perfection des verres objectifs des lunettes // Mémoires de l'Académie roy. sci. et des belles-lettres de Berlin (1747). Berlin, 1749. V. 3. S. 279*). Теперь выяснилось, что глаз человека также не свободен от сферической и хроматической аберраций, хотя сферическая аберрация и хроматизм (окрашивание изображений) многолинзового глаза человека значительно меньше, чем, например, у однолинзового глаза скорпиона. Глаз человека уменьшает сферическую и хроматическую аберрации своей линзовой системы гораздо лучше, чем глаза других обитателей Земли (не считая глаза осьминога, который видит так же, как человек). Итак, оптимизм Эйлера в этом отношении вполне оправдан.

И через 200 лет после Эйлера у исследователей не убавилось восхищения перед этим удивительным творением природы. Для сравнения приведем слова американского ученого А. Роуза [A. Rose] из его книги «Зрение человека и электронное зрение» (М., 1977. С. 129): «Зрительная система человека достигла высочайшего совершенства. Ученые, работающие над созданием электронных или химических систем со сравнимыми характеристиками, могут лишь восхищаться ее чувствительностью, компактностью, долговечностью, высокой степенью воспроизводимости и изящной приспособляемостью к потребностям человеческого организма». И далее: «Зрительный процесс представляет собой абсолютную конечную веху в цепи эволюции. Если принять во внимание, что в зрительном процессе „считается“ каждый поглощенный фотон, то дальнейшее увеличение чувствительности маловероятно... Законы квантовой физики устанавливают жесткий предел, к которому наша зрительная система приблизилась почти вплотную». См. также коммент. 1 к письму 23.

² *Таковы четыре прозрачные среды, через которые должны пройти лучи, входящие в глаз...* — Именно эти четыре преломляющие среды были особо выделены и рассмотрены в «Оптике» Иби ал-Хайсама, которую штудировали петербургские ученые, и необходимость подбора четырех линз для уменьшения хроматизма объективов была указана в пометках на полях этой книги, хранящейся в Библиотеке Академии наук еще с XVIII в. Возможно, эти пометки были сделаны самим Эйлером.

³ *...эти волокна сообщаются с большим нервом, называемым оптическим...* — См. коммент. 2 к письму 28.

⁴ *Однако даже самый искусный анатом не в состоянии проследить путь нервов до их начала.* — Рассуждения Эйлера о формировании по возможности всех звеньев процесса восприятия изображения свидетельствуют о том, что он понимал всю сложность этого вопроса, до конца не изученного и в настоящее время, и не упрощал его, как это делали материалисты XVIII в. Правда, Эйлер в письме ссылается на всемогущество Творца, но его столь же просто заменить смыслом на всемогущество природы, познание тайн которой не имеет предела.

Письмо 42

¹ *Орлы... могут прямо смотреть на Солнце...* — Орлы действительно могут смотреть на Солнце, сужая при этом очень сильно зрачок. Человек может обучиться этому с помощью особых тренировок, систему которых отработали, например, индийские йоги.

² *У сов же зрачки так хорошо раскрыты, что эти птицы не могут переносить свет даже слабой силы.* — Как выяснено в настоящее время, сова может видеть не только ночью, но и днем, хотя ночью — гораздо лучше. Описанная Эйлером особенность глаза совы была в деталях изучена петербургскими учеными, присутствовавшими при изготовлении анатомического препарата глаз этой птицы местным анатомом И. Г. Дювернуа. См. коммент. 1 к письму 23.

³ *...как это случается в театре комедии Шуха...* — Франц Шух (1716—1763) — выдающийся немецкий и австрийский актер и антрепренер, один из лучших комиков Австрии и Германии того времени. Прославился исполнением роли Арлекина. Играл в труппе странствующих актеров. Ставил пьесы Теренция, Плавта, Мольера, а также арлекинады и фарсы. Спектакли Шуха посещали Г. Э. Лессинг, «центральная фигура немецкого Просвещения», и Л. Эйлер. После смерти Ф. Шуха его труппу возглавил его сын, Франц Шух младший (1741—1771), который построил в Берлине собственный театр, где поставил трагедию А. П. Сумарокова «Семира» в 1765 г.

Л. Эйлер, как, впрочем, и А. Д. Кантемир, А. П. Сумароков, В. К. Тредиаковский, Н. Г. Курганов и многие другие штатные и добровольные сотрудники Петербургской обсерватории, приобщился к театру еще в годы своей работы в Петербурге. Основатель и бессменный директор обсерватории Ж. Н. Делиль очень любил театр и сам участвовал в студенческие годы в любительских спектаклях. Особое пристрастие Делиль питал к «Комеди Франсез» и его авторам:

П. Корнелию (1606—1684), Ж. Б. Мольеру (1622—1673) и Ж. Расину (1639—1699). Их произведения с легкой руки Делиля пользовались большой популярностью среди петербургской научной молодежи. Их чаще других брали из академической библиотеки наряду с трудами И. Ньютона (подробнее см.: *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. С. 39). Несмотря на то что Эйлер приобщился к театру под влиянием Делиля, он не разделял его пристрастий. К ужасу своих солидных коллег Эйлер предпочитал буффонаду, арлекинаду и театр марионеток.

⁴ *...чтобы принять требуемое количество лучей.* — Нормальный человеческий глаз при переходе от яркого дневного света к сумраку затемненной комнаты увеличивает свою чувствительность в тысячи раз. Происходит так называемая темновая адаптация глаза (при самом резком скачке освещенности на адаптацию требуется около получаса). Это — один из наиболее известных и вместе с тем удивительных феноменов зрительного процесса. Необходимое для адаптации время зависит не от скорости расширения зрачка (она довольно велика: от максимума до минимума — десятки доли секунды), а от реакции элементов сетчатки и, несомненно, от работы зрительных центров головного мозга. Недаром глаз называют «частью мозга, вынесенной за его пределы». Так что нельзя дать однозначный ответ на вопрос, почему именно возросла чувствительность глаза после удара, — в случае, описанном Эйлером.

Письмо 43

¹ *...выпуклой линзы ACBD, которая... собирает в одной точке все лучи, приходящие из какой-либо точки объекта...* — Это верно лишь для точки, находящейся на оптической оси линзы. Если же говорить о всей сферической поверхности линзы, то не все лучи ее точно собираются в одной точке. Это отклонение называется сферической абберацией, о сущности которой Эйлер и рассказывает ниже. Сферическую абберацию действительно невозможно устранить, ее можно лишь уменьшить подбором разных линз.

² *...красные лучи испытывают наименьшее преломление, а фиолетовые — наибольшее.* — Здесь и ниже Эйлер говорит о хроматической абберации, т. е. о том, что лучи разного цвета невозможно собрать в одном фокусе. Из-за этого изображения предметов получаются окаймленными радужными цветными каемками. Хроматизмы также нельзя уничтожить, но его можно значительно уменьшить подбором нескольких линз, что и делал Эйлер и другие петербургские ученые. См. коммент. 1 к письму 23.

³ *...что серьезно исказило бы изображение.* — Эйлер заблуждался: оптическая система глаза не свободна от сферической и хроматической аббераций. Все же хрусталик — это линза, и края зрачкового пространства преломляют свет сильнее, чем его середина. При нормальном освещении зрачок не расширяется полностью, что «отключает» края хрусталика от работы и несколько ослабляет сферическую абберацию. Она сказывается менее всего при ярком освещении, когда зрачок сужен максимально.

Глаз не является и ахроматической системой: если мы смотрим в «бесконечность», фокус фиолетовых лучей расположен на 0,43 мм ближе к хрусталику, чем фокус лучей красных. Предметы, особенно белые, освещенные белым светом, дают на сетчатке изображение, окруженное разноцветной каймой. Мы не замечаем ее, так как она очень слаба.

Глаз подвержен также абберации, называемой астигматизмом. Это — дефект, обусловленный отличием форм роговицы и хрусталика от строго сферической. Одно из проявлений астигматизма — различие в фокусировании горизонтальных и вертикальных линий. Глаза, совершенно свободные от астигматизма, у людей встречаются редко. С помощью нехитрых тестов можно убедиться в наличии упомянутых аббераций оптической системы глаза.

Вместе с тем надо учитывать, что область наиболее отчетливого и резкого видения находится на сетчатке в так называемой центральной ямке диаметром около полумиллиметра.

Вследствие этого глаз различает мелкие подробности только в центре поля зрения, ограниченном углом менее полутора градусов. Ближайшая к центральной ямке область четкого видения — желтое пятно сетчатки — имеет угловые размеры всего 6—8°. Таким образом, в формировании отчетливого образа участвует действительно лишь небольшая часть хрусталика, расположенная у самой оптической оси, что делает роль aberrаций глаза совершенно незначительной. Следует принимать во внимание и компенсаторные механизмы зрительных центров мозга, которые вычлениют из сознательного восприятия мешающие факторы. Например, люди, постоянно носящие очки, знают, как быстро становится «невидимой» трещина на очковом стекле, и т. п.

⁴ *...глаз, сотворенный Создателем, не обладает ни одним из перечисленных мною несовершенств...* — Глаз человека не свободен от сферической и хроматической aberrаций, как, впрочем, и от других дефектов, однако это выяснилось лишь в XIX—XX вв.

⁵ *Псаломщик* — царь Давид (ок. 1015—ок. 970 до н. э.), автор псалмов, вошедших в Библию.

⁶ *Образовавший глаз не увидит ли? Насадивший ухо не услышит ли?* — Это строки из псалма 93 (Библия, Псалтирь). Эйлер изменил порядок предложений.

Письмо 44

¹ *...только безумцы могут в сердце своем отвергать существование Бога...* — Библия, Псалтирь, псалом 13.

² *...наше зрение приспособлено к нашим потребностям, и вовсе не нужно желать чего-то большего, но, наоборот, принимать этот чудесный дар Создателя со смиренным благоговением.* — Совершенство органа зрения человека приводило Эйлера в восхищение мудростью природы, которую в то время он выражал как мудрость Творца. Правда, в годы своей юности в Петербурге он был склонен к материализму (не только в отношении трактовки естественнонаучных вопросов) и даже к атеизму. Возможно, что в Берлине взгляды Эйлера несколько изменились в противовес вульгарному материализму, распространенному при дворе Фридриха II (1712—1786). Однако Эйлер всегда оставался стихийным материалистом в трактовке естественнонаучных вопросов. Это нашло отражение и в «Письмах».

³ *...позволит ему видеть предметы, отстоящие несколько дальше или несколько ближе.* — Приспособляемость к четкому видению на различных расстояниях называется аккомодацией. Она достигается изменением кривизны хрусталика с помощью особой мышцы, а не сокращением или удлинением глазного яблока, как считал Эйлер. Вероятно, минимальное расстояние отчетливого восприятия — около 10 см от глаза (для взрослого человека с нормальным зрением).

Письмо 45

¹ *...из чего следует, что эти вещества, так же как и другие, обладают от природы тяжестью, или весом.* — Описанные здесь явления Эйлер наблюдал в Петербурге в 1731—1735 гг. в физической лаборатории своего друга Г. В. Крафта (1701—1754).

² *...лететь вверх ядро понуждает сила пороха... как только сила, толкающая его вверх, перестает действовать, ядро падает на Землю...* — Автор здесь допускает неточность: «сила пороха» перестает действовать, как только ядро покидает канал ствола, и далее оно летит по инерции.

Письмо 46

¹ ...где находится действующее начало тяжести, внутри самих тел или вне их? — Ньютон считал, что тяготение — свойство самих тел, Эйнштейн полагал, что это — свойство пространства, в котором тела находятся; см. также коммент. 2 к письму 11.

² ...Фунт — вероятно, имеется в виду немецкий (прусский) фунт, весивший около 467 г.

³ ...превышать вес воды в 19 раз. — Это отношение вполне справедливо: по современным данным, оно равно 19.3. Однако подсчет плотности других приведенных Эйлером веществ относительно воды дает нам величины, отличные от принятых в наше время (в скобках): серебро — 11.0 (10.5); железо — 7.14 (7.88); воздух — 0.00119 (0.00129). Нам достоверно известно, какой метрической величине соответствует фут, применяемый Эйлером (см. письма 1 и 156): 24 000 футов в нем. миле, т. е. 1 фут = около 0.31 м. Исходя из этого, нетрудно вычислить в метрических единицах величину фунта, которым пользовался Эйлер при указании плотности перечисленных веществ: она составляет в среднем около 428 г, что больше русского фунта (около 410 г) и меньше английского (около 453 г). Это значение ближе всего к так называемому шведскому фунту (около 425 г), который был в ходу до 80-х гг. XIX в.

Письмо 47

¹ ...если предоставить телу свободно падать, то оно устремится вниз по прямой линии. Эта линия называется также отвесной. — Здесь и ниже Эйлер дает основные определения и решает простейшие задачи сферической астрономии, используя при этом материалы своих статей, опубликованных в «Примечаниях на „Ведомости“»: «О Земле» (1732, ч. 6—12), «О внешнем виде Земли» (1738, ч. 27—32).

² Зенит — искаженное арабское слово *ẓūl* — «самата» — быть над головой — «самт» = «замт».

³ ...пользуются нитью со свинцовым шариком на конце, которую они называют отвесом. — Отвесная линия, по которой располагается нить со свинцовым шариком на конце, является той линией, вдоль которой и действует земное тяготение. Эйлер называет ее вертикальной, или отвесной, линией.

⁴ ...быть может, окажется горизонтальной. — Исследователь жизни и деятельности Эйлера Рюдигер Тиле из ГДР обратил внимание на некоторую несообразность в рассуждениях, приведенных в этом письме. Вот что пишет Тиле в своей книге «Леонард Эйлер» (Киев, 1983. С. 129):

«В 47-м письме Эйлер допустил одну невинную ошибку. Объяснив своей юной читательнице, что такое нивелирование, он предложил ей в качестве упражнения провести прямую линию от ее покоев в Берлине до ее же покоев в Магдебурге. Посредством нивелирных инструментов можно было бы установить, является ли эта линия горизонтальной или наклонной. Эйлер думал, что будет наклонная линия, поскольку Берлин лежит на Шпрее, а Магдебург на Эльбе, известно же, что Шпрее впадает в Гавель, а тот — в Эльбу, следовательно, Берлин должен лежать выше, чем Магдебург (Эйлер считал, что линия, соединяющая точку на поверхности реки в Берлине со шпилем Магдебургского собора, является горизонтальной). Однако лишь один взгляд, брошенный на им же самим изданный „Географический атлас“, немедленно убедил бы Эйлера в сомнительности его выводов. Магдебург лежит довольно далеко от устья Гавели и выше этого устья, поэтому в действительности поверхность Эльбы в Магдебурге приблизительно на 10 м выше поверхности Шпрее в Берлине. Ошибка, допущенная Эйлером в письме, объясняется как умозрительностью его заключений, так и незначительностью предмета разговора. Однако до настоящего времени во всех изданиях писем к принцессе... по этому поводу нет корректирующего примечания».

Пользуемся случаем, чтобы выразить признательность Р. Тиле: благодаря ему данное издание «Писем» таким примечанием снабжено.

⁵ Астрономы усильно заботятся о том, чтобы полы в их обсерваториях настилались точно с помощью уровня, чтобы они соответствовали реальному горизонту. — Воспоминания Эйлера о работе Петербургской и Берлинской обсерватории, директором которой он был назначен.

Письмо 48

¹ *...эта форма является не совершенно сферической, но несколько приплюснутой у полюсов...* — Теоретически это было предсказано Ньютоном; он же произвел первые расчеты. Экспериментальной проверкой этого положения в течение XVIII столетия занимались неоднократно путем градусных измерений под различными широтами и наблюдений над качаниями маятников. Ныне принято считать сжатие земного эллипсоида равным 1 : 298.25.

Ньютон полагал, что Земля должна иметь форму шара, сплюснутого у полюсов. Р. Декарт и его последователи считали, что Земля вытянута у полюсов, т. е. похожа на огурец. Такая фигура Земли была получена на основании французских градусных измерений вдоль линии Парижского меридиана на территории Франции. Эти измерения и их обработка велись под руководством картезианцев. Лапландская и Перуанская градусные экспедиции окончательно доказали правоту Ньютона. См. коммент. 5 к письму 16.

² *...едва достигает полумили.* — Половина немецкой мили — около 3700 м, что приблизительно в 2,4 раза меньше высоты Джомолунгмы (Эвереста), которая составляет 8848 м.

³ *...истинная форма Земли.* — Античные ученые очень рано пришли к заключению, что Земля имеет форму шара. Так считал Платон (427—347 до н. э.), основатель Академии в Афинах, его ученики Евдокс Книдский (408—355 до н. э.) и Аристотель (384—322 до н. э.) в деталях разработали геоцентрическую картину мира, центром которого была шарообразная Земля. Аристарх Самосский (310—230 до н. э.) предложил гелиоцентрическую картину мира, центром которого было шарообразное Солнце, а все шарообразные планеты (и Земля) вращались вокруг него и вокруг своих осей. За «непочтение к богам» Аристарх был изгнан из Афин. В 240 г. до н. э. древнегреческий астроном и географ Эратосфен (около 276—194 до н. э.) из Кирены (Северная Африка) впервые измерил дугу меридиана Земли и определил размеры нашей планеты. Измерения проводились в Сиене (на юге Египта) и в Александрии (на севере Египта). На основе всех этих данных Клавдий Птолемей (около 87—165), работавший в Александрии в 127—151 гг., написал свое «Математическое сочинение в 13 книгах», получившее в поздней античности название «Великое (μεγαλη)» или даже «Величайшее (μεγιστη) сочинение» в противоположность «Малому», где кратко сообщалось о содержании его большого труда. В «Малом» Птолемей перечислил все известные ему системы мира, в том числе и систему Аристарха. Однако свой большой труд он основал на геоцентрической системе мира, более удобной для путешествий того времени. Из-за практической важности этого труда Птолея он был переведен и на арабский язык. В арабизированной форме он получил название «Алмагест» от арабского «алмаджисти», т. е. «величайшее», где к греческому слову «мэгисте» был присоединен арабский артикль «ал». Система Аристотеля и Птолея была принята европейской наукой вплоть до 1543 г., когда польский астроном Николай Коперник (1473—1543) предложил гелиоцентрическую систему мира, более соответствовавшую кругосветным плаваниям того времени. Тогда все путешественники перестали удивляться тому, что на противоположной от нас стороне Земли люди не ходят «вверх ногами». Это удивительное явление антиподов Эйлер объясняет в остальной части письма.

⁴ *...жители там обращены к нам ногами, из-за чего их и прозвали антиподами.* — Антиподы и проблема антиподов пользовались большой популярностью в Петербургской Академии наук. Этим вопросам посвящено много статей в петербургском журнале «Примечания на „Ведомости“» за 1728—1736 гг., материалы которых Эйлер здесь широко использует.

⁵ *...насекомые, ползающие вниз головой, цепляются своими коготками...* — На потолке муха удерживается не коготками, а присосками, расположенными под коготками, о которых писал Эйлер.

⁶ *...равное 2700 немецким милям.* — Эйлер имеет в виду полуокружность земного шара (в переводе на метрические меры — чуть меньше 20 000 км), которая в действительности составляет по экватору 20 038,5 км, а по меридиану — 20 001,5 км.

Письмо 49

¹ ...в каком бы месте Земли мы ни находились, отвесная линия была бы перпендикулярна к поверхности воды. — Эйлер имеет в виду фигуру так называемого геоида, т. е. фигуру Земли, если бы она была сплошь покрыта водой.

² В. В. вспомнит, что... 2-й де... — Речь идет о Ф. М. А. Вольтере (Voltaire François Marie Arouet, 1694—1778), который был почетным членом Петербургской Академии наук. Эйлер имеет в виду памфлет Вольтера на П. Л. М. Мопертюи, по его мнению, незаслуженно претендовавшего на открытие принципа наименьшего действия (Voltaire F. M. A. Diatribe d'Akakia, medecin du Pape. Potsdam; Berlin, 1752).

³ Мопертюи Пьер Луи Моро де (Maupertuis Pierre Louis Moreau de, 1698—1759) — французский физик, астроном, геодезист, философ, член Парижской Академии наук (с 1723). Работал в Берлинской Академии наук, был ее президентом (1746—1759), почетный член Петербургской Академии наук (1738). Мопертюи подошел к открытию принципа наименьшего действия. Л. Эйлер также открыл этот принцип на другом, математическом основании. Эйлер поддержал Мопертюи и предложил ему свои более простые формулы. Самуэль Кёниг (König Samuel, 1712—1757) — философ и математик, профессор в Гааге, почетный член Берлинской Академии наук, выступил с возражениями против претензий Мопертюи на открытие принципа наименьшего действия. Эйлер всячески поддерживал Мопертюи, но в конце концов Кёниг представил найденное им письмо Г. В. Лейбница (Leibnitz Gottfried Wilhelm, 1646—1716), открывшего этот принцип значительно раньше, хотя этот ученый никогда об этом не заявлял, так же как И. Ньютон, Л. Эйлер и другие ученые. Таким образом, приоритет остался за Мопертюи.

⁴ ...на глубину 860 немецких миль. — Т. е. на глубину около 6360 км (средний радиус Земли, по современным данным, — около 6370 км).

Письмо 50

¹ ...одно и то же тело, перенесенное к экватору, должно стать несколько легче, чем в том случае, если его перенести к полюсам Земли. — Это объясняется тем, что диаметр Земли, сплюснутой у полюсов, на экваторе должен быть несколько большим, чем у полюсов.

² ...заметили, что одно и то же тело у экватора падает с меньшей скоростью, чем здесь. — Экспериментальная техника XVIII столетия не позволяла измерять скорость падения тел с требуемой точностью. Данные, о которых пишет Эйлер, были получены в результате наблюдений за качаниями маятников на различных широтах. Вероятно, именно эти опыты имеет в виду автор: в сущности, маятник, качаясь, «падает».

Уменьшение силы тяжести в экваториальной области зависит от двух причин: от увеличения центробежной силы, возникающей при вращении Земли, и от того, что Земля сплюснута у полюсов.

³ ...пока совершенно не исчезнет. — Согласно закону всемирного тяготения, сформулированному Ньютоном еще в XVII в., сила взаимного притяжения двух тел убывает пропорционально квадрату расстояния между ними, т. е. очень быстро. Но из того же закона явствует, что эта сила никогда не обращается в ноль: при определенных условиях она может стать просто пренебрежимо малой (намек на это обстоятельство содержится в последующих строках данного письма). Вероятно, Эйлер прибег к столь упрощенному выражению, учитывая уровень подготовленности своих читателей.

Письмо 51

¹ Опыты... убеждают нас в обоснованности этого суждения. — Эйлер имеет в виду эксперименты, описанные в «Началах» И. Ньютона, и приведенные там расчеты.

² *Ядро превратилось бы тогда в маленькую Луну и обращалось бы вокруг Земли подобно настоящей Луне.* — Классический пример, рассмотренный Ньютоном в «Началах».

³ *...до некоторой степени подобным окружности...* — В действительности орбита Луны — в грубом приближении — является эллипсом, хотя эксцентриситет его (отношение расстояния между фокусами к длине большой оси) очень мал и составляет лишь 0,055.

Письмо 52

¹ *Именно тяготение, толкающее Луну к Земле, видоизменяет ее движение...* — См. коммент. 1, 2 к письму 51.

² *...яблоко упало ему на голову...* — История с «озарением» Ньютона — не более чем эффектная легенда. Во-первых, нельзя сбрасывать со счетов опыт предыдущих поколений ученых: ведь догадка о единстве причин, управляющих движением планет и падением земных тел, была высказана, в частности, еще Анаксагором (около 500—428 до н. э.). В трудах И. Кеплера (1571—1630) действие Солнца на планеты сравнивается с действием магнита. Очень близко к открытию закона притяжения тел подошел современник Ньютона Р. Гук (1635—1703). Во-вторых, к тому времени, как Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения, у него в руках уже были открытые им законы, применимые к описанию любых движений. Поскольку Кеплер достаточно точно установил траектории планет, уравнения движения позволили определить и силу, вызывающую данное движение. Во всяком случае такая последовательность рассуждений представляется более вероятной, нежели та, которую «реставрирует» Эйлер.

³ *...планета Юпитер имеет четыре спутника, а Сатурн — пять...* — Четыре спутника Юпитера были открыты Г. Галилеем (1564—1642) в 1610 г. В настоящее время известны уже 9 спутников этой планеты. К 3 сентября 1760 г., когда Эйлер писал это письмо, было известно 5 спутников Сатурна. В 1789 г. В. Гершель открыл еще один спутник.

⁴ *...и только ему [Ньютону] мы обязаны теми великими познаниями, которые мы имеем в настоящее время в астрономии.* — Эйлер со знанием дела говорит о новой в то время науке, возникшей на основе учения Ньютона, — о небесной механике, которую начали разрабатывать петербургские ученые, и больше всех — Л. Эйлер, с начала 30-х гг. XVIII в. В конце XVIII в. небесная механика достигла наибольшего развития во Франции.

Письмо 53

¹ *...это происходит из-за проникновения в поры магнита и железа чрезвычайно тонкой материи...* — См. дальнейшие письма с объяснением Эйлеровой теории электричества и магнетизма.

² *никто теперь не может сомневаться в его истинности.* — Истинным триумфом теории Ньютона было открытие в 1846 г. планеты Нептун. Эту планету обнаружил немецкий астроном И. Галле (1812—1910) по координатам, вычисленным У. Леверье (1811—1877) во Франции на основании гравитационных возмущений орбиты Урана. Справедливости ради отметим, что независимо от Леверье к аналогичному выводу пришел англичанин Дж. Адамс (1819—1892).

³ *...кометы также подчиняются тяготению...* — Работы английского астронома Э. Галлея и петербургского астронома Ж. Н. Делиля убедительно доказали, что кометы точно следуют законам механики Ньютона и законам планетных движений И. Кеплера. Эйлер занялся изучением движения комет с 1742 г., когда Делиль прислал ему из Петербурга письмо от 12/23 июля 1742 г., в котором просил разработать метод определения орбит комет по выполненным им в Петербурге наблюдениям. Меньше чем через месяц Эйлер решил поставленную перед ним задачу. Это решение он послал в Петербург. Проблемами движения комет Эйлер интересовался еще и в первые годы своего пребывания в Петербурге, как это видно из пометок в его записных книжках 1727—1741 гг. Подробнее см.: *Невская И. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. Гл. 5.

Письмо 54

¹ *...или же их взаимное притяжение обусловлено каким-то скрытым, оккультным свойством.* — Петербургские ученые постоянно размышляли о физической природе тяготения и не разделяли мнения Ньютона о том, что это — свойство тел.

² *Если бы мы увидели повозку, следующую за незапряженными лошадьми...* — Эйлер высмеивает тех последователей Ньютона, которые довели до абсурда его идеи.

³ *...чем больше размеры тела, тем сильнее оно притягивает к себе другие тела...* — Дело не в размерах тела, а в его массе. См. также коммент. 2 к письму 11.

⁴ *...они ссылаются еще на опыты, проведенные в Америке учеными Парижской Академии...* — Эйлер имеет в виду гравиметрические наблюдения Л. Годена, выполненные им по пути в Кито, на острове Сан-Доминго (с 24 VIII по 4 IX 1735 г.). Подробнее о них см. в его статье «Длина простого маятника, отбивающего секунды среднего времени, наблюдавшаяся в Париже и в Малом Гуаве на острове Сан-Доминго» (*Godin L. La longueur du pendule simple, qui bat les secondes du temps moyen, observée à Paris, et au Petit Goave en l'Isle Saint-Domingue // Mémoires de l'Académie roy. sci. de Paris (1735). Paris, 1738. P. 505—521.* О-в Сан-Доминго — ныне Гаити. Город Малый Гуав — ныне Гонаив.

Письмо 55

¹ *...Солнце в несколько тысяч раз больше Земли...* — По современным данным, масса Солнца составляет $1.99 \cdot 10^{30}$ кг, что больше массы Земли ($5.97 \cdot 10^{24}$ кг) приблизительно в 330 тыс. раз.

² *...масса Луны почти в 40 раз меньше массы Земли...* — Масса Луны относится к массе Земли как 1 : 81.37.

Письмо 57

¹ *...неподвижная звезда удалена... на расстояние, в 400 000 раз превышающее расстояние от нас до Солнца...* — См. коммент. 3 к письму 20.

² *...она вполне может изменить ее движение.* — Ядро кометы средних размеров имеет поперечник около 1 км при плотности вещества порядка 1 кг/см^3 .

Масса такого ядра составит около $4 \cdot 10^{12}$ кг, т. е. приблизительно в триллион раз меньше массы Земли. Так что практического влияния на движение землеподобной планеты комета оказать не может.

Письмо 58

¹ *...сущность астрономической науки, которая требует точного знания движения всех небесных тел...* — Эйлер говорит здесь о небесной механике, которой он очень много занимался; см. коммент. 4 к письму 52. Наука, которая занимается движением вообще, называется механикой, или динамикой. Механикой Эйлер также много занимался еще с первых лет своего пребывания в Петербурге.

² *покойный г-н Ньютон, умерший в 1728 г. ...* — Возможно, описка Эйлера основана на том, что дата рождения Ньютона, действительно, меняется на год: по старому стилю это 1642 г., а по новому — 4 января 1643 г. Вынужденный при общении с Петербургской Академией наук все время переводить даты с нового стиля на старый, Эйлер мог по ошибке перевести на один год дату смерти Ньютона вместо даты его рождения, если здесь не просто опечатка.

³ *...по сравнению с силой Солнца.* — Достаточно сказать, что 99.87% массы Солнечной системы сосредоточено в самом Солнце.

Письмо 59

¹ ...[звезды] удалены как друг от друга, так и от Солнца на чрезвычайно большие расстояния... — См. коммент. 9 к письму 1.

² ...в 400 000 раз превышающее расстояние от нас до Соянца. — См. коммент. 3 к письму 20.

³ ...темных тел, подобных нашей Земле и без сомнения обитаемых... — В XVIII в. со второй его половины мнение об обитаемости других планет стало общепринятым. В настоящее время установлено, что обитаемых миров значительно меньше, чем казалось раньше. В Солнечной системе обитаема, по-видимому, одна Земля. Да и других звездных систем, имеющих обитаемые планеты, мы пока не знаем. И. С. Шкловский (1916—1985) даже считал обитаемые планеты исключением, а не правилом, полагая, что Земля, скорее всего, одинока во Вселенной или по крайней мере в близкой к нам ее части.

⁴ Всего известно шесть таких небесных тел, освещаемых и обогреваемых Соянцем. — Эйлер говорит о планетах Солнечной системы. В XVIII в. было известно 6 таких планет, видимых простым глазом. Они наблюдались еще с глубокой древности. В 1781 г. В. Гершель открыл Уран, в 1846 г. по предвычислению Дж. К. Адамса (1819—1892) и У. Ж. Ж. Леверье (1811—1877) И. Г. Галле (1812—1910) открыл Нептун. Плутон был открыт К. У. Томбо (род. 1906) по предвычислению П. Ловелла (1855—1916) в 1930 г.

В настоящее время известно 9 планет, обращающихся вокруг Солнца (не считая астероидов).

⁵ ...движение их [звезд]... только кажущееся и объясняется движением Земли. — См. коммент. 8 к письму 1. Что касается движения звезд, то до XVIII в. их никак не удавалось измерить. В 1718 г. Э. Галлей измерил первые собственные движения звезд. Однако первые годовичные параллаксы звезд, которые пытались обнаружить с глубокой древности, были измерены лишь в 1835—1840 гг. В. Я. Струве (1793—1864), Ф. В. Бесселем (1784—1846) и Т. Гендерсоном (1798—1844). Но годовичные параллаксы, так же как видимое вращение всего неба, — лишь отражение движения Земли. В XX в. начали подробно изучать и собственные движения различных звезд и звездных систем.

⁶ Две первые планеты... по всей видимости, не имеют спутников, так же как и Марс... — Меркурий и Венера не имеют спутников. У Марса в 1877 г. А. Холл (1829—1907) открыл два спутника, названных Фобос и Деймос (т. е. «страх» и «ужас», считающихся спутниками бога войны Марса).

⁷ ...вокруг него [Юпитера] движутся четыре спутника... — В настоящее время число известных спутников Юпитера возросло до 13.

⁸ Эту планету [Сатурн]... сопровождает пять спутников... — Ныне известно уже 16 спутников Сатурна.

⁹ Среди комет замечена одна... это — именно та, которую мы видели в прошлом году... — Современники Эйлера, в том числе и его ученицы, могли видеть комету Галлея с 25 декабря 1758 г. по 22 июня 1759 г. Эйлер также наблюдал эту комету и вычислял ее орбиту. Наблюдали ее и в Петербурге. Комета впервые была замечена в 466 г. до н. э., после чего наблюдалась еще при 23 появлениях. Появление 1759 г. было первым, которое удалось предвычислить с помощью теории.

¹⁰ ...нам неизвестно, когда они вернуться. — Древнеримский политический деятель, философ и писатель Луций Сенека (около 4 до н. э.—65 н. э.) писал, что «следовало бы иметь список всех комет, потому что редкость их появления препятствует удостовериться, не возвращаются ли они и каков их путь».

Письмо 60

¹ ...что именно хотел сказать покойный г-н де Фонтенель в своей книге о множественности миров. — Фонтенель Бернар ле Бовье (1657—1757) — неперенный секретарь Парижской Академии наук, писатель. Особенно прославилась его книга «Разговоры о множестве миров» (1686). В 1740 г. в Петербурге был опубликован ее русский перевод, подготовленный в 1730 г. А. Д. Кан-

темиром (1708—1744), учившимся в Академии. Находясь в Петербурге, Эйлер живо участвовал в обсуждении этой книги, входившей в программу чтения, составленную Ж. Н. Делилем для астрономов своей обсерватории. Как выяснилось (см.: *Копанев Н. А.* О первых изданиях сатир А. Кантемира // *Русская литература XVIII в. в ее связях с искусством и наукой.* Л., 1986. С. 140—154), издания сатир А. Д. Кантемира, писать которые он начал, обучаясь в Петербургской Академии наук, вышли в Голландии (1749), Париже (1750), в Берлине (1752), а затем наконец в Петербурге (1763) при активном участии Л. Эйлера, Ж. Н. Делиля и других ученых. Издание сатир Кантемира в странах Европы оказало большое влияние на французское, немецкое и русское Просвещение, а публикация русского перевода книги Фонтенеля — на русское Просвещение.

² ...каждая планета и даже каждый из спутников заслуживают того, чтобы именовать его «миром»... — Представление о множественности обитаемых миров, бывшее еретическим несколькими веками ранее, в XVII в. и особенно в XVIII в. допускалось церковью, хотя и не было признано ею официально.

³ ...и особенно в метафизике... — Метафизика — дословно «то, что идет за физикой». Так назвал ее Аристотель (384—322 до н. э.). В XVIII в. метафизика рассматривалась как антидиалектический метод познания природы и основная часть философии, изучающая умозрительные вопросы, т. е. недоступные органам чувств.

⁴ ...философы спорят, является ли наш мир самым лучшим или нет... — Представление о том, что наш мир — самый лучший и что «все к лучшему в этом лучшем из миров» вытекало из философских воззрений Лейбница и его последователей. Ср. вольтеровскую ироническую традицию на эту тему.

⁵ Такое мнение, по-видимому, подтверждается историей сотворения мира, где определенно говорится, что все вначале было прекрасно устроено. — Известны предания о существовании «золотого века» в древности, когда царили свобода, справедливость, счастье и изобилие. Подобные предания известны в эпосе разных народов мира.

Письмо 61

¹ Прошлогодня комета... — Комета Галлея.

² ...массой, которая... нам... неизвестна. — К моменту перигелия в 1985—1986 г. масса кометы Галлея оценивалась приблизительно в 60 млрд тонн (в 10^{14} раз меньше массы Земли).

³ ...земное притяжение значительно превосходит притяжение Солнца. — Вспомним, что за один оборот Земли вокруг Солнца Луна оборачивается вокруг Земли, грубо говоря, двенадцать раз. Если принять Солнце за точку отсчета, то путь Луны представится как «волнистая» кривая, без замкнутых «витков». Таким образом, дальнейшее действие солнечной массы заставляет пару Земля—Луна двигаться по эллипсоидальной орбите, а близкое действие Земли приводит лишь к достаточно слабым колебаниям Луны около этой орбиты. См. письмо 67.

⁴ ...им никогда не удавалось без значительных ошибок предсказать положение Луны на небе... — Теория Луны весьма сложна, и до настоящего времени вполне точной теории не существует. Эйлер много занимался этими проблемами, начиная с первых лет своего пребывания в Петербурге и до конца жизни. В 1753 г. Эйлер опубликовал так называемую первую теорию движения Луны, которая была напечатана в Берлине, но на средства Петербургской Академии наук (*Euler L. Theoria motus Lunae exhibens omnes ejus inaequalitates...* . Berolini, 1753). На основе теории Эйлера его друг И. Т. Майер составил весьма точные лунные таблицы. В 1765 г. Майер и Эйлер получили премию британского парламента. В 1772 г. в Петербурге, где тогда уже вновь работал Эйлер, была опубликована новая работа под тем же названием, что и первая. В отличие от первой теории, в научной литературе она получила название «вторая теория Луны». Там Эйлер предложил новый метод вычисления всех неравенств Луны. Метод этот был положен в основу современных теорий Луны Дж. У. Хилла (1838—1914) и Э. В. Брауна (1866—1938).

⁵ ...г-н Майер из Гёттингена, следуя по открытому мною пути, достиг, наконец, той степени точности, которую уже почти невозможно превзойти. — Эйлер имеет в виду весьма точные лунные таблицы, составленные на основе его первой теории Луны И. Т. Майером (Майер Иоганн Тобиас (Mayer Johann Tobias, 1703—1762)) — немецкий астроном и математик; уточнил теорию движения Луны, изобрел и ввел в употребление ряд астрономических приборов и методов. См. выше, коммент. 4. И хотя в 1760 г., когда Эйлер писал это письмо, он считал, что большей точности в теории Луны уже нельзя достигнуть, в 1772 г. он разработал свою вторую теорию Луны, давшую еще большую точность.

⁶ ...именно механике мы обязаны столь важным открытием, которое приносит величайшую пользу не только астрономии, но также географии и мореплаванию. — Эйлер имеет в виду небесную механику — наивысшее достижение всей науки XVIII в.

Письмо 62

¹ Но так как масса Луны приблизительно в 70 раз меньше массы Земли... — Масса Луны равна $1/81.45 = 0.012277$ массы Земли. Таким образом, утверждение Эйлера, что масса Луны приблизительно в 70 раз меньше массы Земли, ближе к истине, чем утверждение, сделанное в конце письма 55, что масса Луны примерно в 40 раз меньше массы Земли. Скорее всего, в письме 55 допущена опечатка или описка — 4 вместо 7.

² ...морской прилив и отлив. — Проблемами морского прилива и отлива сам Эйлер много занимался, так же как и его петербургские коллеги. В 1729 г. была опубликована серия статей о физической причине приливов и отливов в «Примечаниях на „Ведомости“» («О приливе и отливе моря» (1729, ч. 89—91)), а также статья «О том, как должно примечать морской прилив и отлив» (1740, ч. 9, 10). Авторство Эйлера в отношении последней статьи, напечатанной анонимно, было установлено Ю. Х. Копелевич (см.: Копелевич Ю. Х. Забытые страницы «Примечаний на „Ведомости“» // Наука и культура России XVIII в. Л., 1984. С. 43—44). В 1740 г. Эйлер послал свою работу о физической природе приливов и отливов на премию Парижской Академии наук. В «Письмах» Эйлер использовал все эти материалы.

³ ...когда Луна находится в квадратурах... — Квадратуры — первая и последняя четверти Луны.

⁴ Такие большие приливы бывают в Англии, в порту Бристоль. — Бристоль — порт на западном побережье Великобритании, на р. Эйвон, впадающей в длинный и узкий Бристольский залив, где океанские приливы достигают большой высоты.

Письмо 63

¹ Аристотель (384—322 до н. э.) — древнегреческий философ, ученый-энциклопедист, воспитатель Александра Македонского (356—323 до н. э.), прозванного Великим, царя Македонии, полководца и завоевателя, создавшего империю, простиравшуюся от Дуная до Инда.

² ...Аристотель... рискованного опыта. — В индийском походе Александра Македонского Аристотель не участвовал. Приведенный Эйлером рассказ — легенда. И до океана греческое войско не дошло.

³ Кеплер Иоганн (Kepler Johann, 1571—1630) — великий немецкий астроном, математик и натурфилософ. Вывел законы движения планет Солнечной системы и вплотную подошел к открытию принципа всемирного тяготения.

⁴ ...вода опускалась бы именно в тех местах, над которыми находится Луна... чего, однако, не наблюдается. — Именно с опровержения теории приливов Декарта начинали петербургские астрономы, напечатавшие в «Примечаниях на „Ведомости“» две статьи о приливах и отливах.

Автором одной из них был, по-видимому, Эйлер. Излагая объяснение Декарта, он писал: «Сия от Картезия объявленная причина в действо произведена быть не может. Ибо ежелиб воздух под Луню так жестоко угнетал, то надлежало бы оного действие и на ртуе в барометрах приметить, от которого оная знатно выше подымалась, но сие непримечено» («Примечания на „Ведомости“». 1729. Ч. 69. С. 363). Систематические барометрические наблюдения в Петербурге, в которых иногда участвовал и Эйлер, использовались для опровержения картезианской гипотезы. В дальнейшем появились и другие, более убедительные доказательства. Эйлер и использовал их в этих «Письмах».

Письмо 64

¹ *Луна проделывает свой путь вокруг Земли приблизительно за 24 и три четверти часа...* — Подразумевается видимое движение Луны по небосводу.

Письмо 66

¹ *Картезианцы* — последователи Декарта (латинизированная форма фамилии Декарт — Cartesius).

Письмо 67

¹ *...заставляет ее двигаться по ее орбите.* — Это и некоторые другие места в «Письмах» показывают, что Эйлер не всегда был последователен и точен в расстановке акцентов. См. коммент. 3 к письму 61.

Письмо 68

¹ *Английские ученые утверждают, что притягивать друг друга — основное свойство всех тел... как если бы их побуждало какое-нибудь чувство или желание.* — Здесь и далее излагается точка зрения Ньютона и ньютонянцев.

² *Но они убеждены, что эти силы действуют на тела извне, что источником их является эфир...* — Здесь и далее излагается точка зрения Декарта и картезианцев.

³ *Но поскольку теперь стремятся изгнать из науки само понятие «скрытых качеств», то такое понимание притяжения должно быть также отвергнуто.* — Гносеологическое понятие свойства, качества было введено древнегреческими философами-материалистами. Качества тел делили на первичные и вторичные. Первые — объективные свойства, установленные с помощью органов чувств. Демокрит различал качества по степени их объективности. Категорию качеств разрабатывал Аристотель. Подробно обсуждали «скрытые качества» также Декарт и его последователи. Эйлер и петербургские его коллеги старались по возможности изгнать из науки «скрытые качества». Картезианцы считали таким «скрытым качеством» и всемирное тяготение, однако ньютоняне полагали, что тяготение — первичное качество, т. е. факт, установленный из наблюдений.

Письмо 69

¹ *Представление о привидениях, которое бытует в народе, включает в себя понятие продолжительности, однако что они являются телами — отрицается.* — Здесь и дальше Эйлер вновь использует материалы публикаций в «Примечаниях на „Ведомости“», в обсуждении которых (и их подготовке) он деятельно участвовал: «Что о привидениях и колдунах рассуждать надлежит?» («Примечания на „Ведомости“». 1735. Ч. 48—51).

Письмо 70

¹ *И если было бы возможно сжать [воздух] до такой степени, чтобы все его частицы пришли в соприкосновение, тогда дальнейшее сжатие оказалось бы невозможным... материя воздуха проникла бы в самое себя.* — Это — основной вывод, сделанный в статье Эйлера, опубликованной в 1729 г. в Петербурге: «Опыт объяснения воздушных явлений». См. коммент. 2 к письму 2 и 1 к письму 11.

Письмо 71

¹ *Всякое тело находится в покое либо в движении.* — Механикой, т. е. наукой о движении, Эйлер занимался с первых дней своего пребывания в Петербурге, как видно по его пометкам в записных книжках 1727—1741 гг. В эти годы он составил обширный план работ по механике. «Механика, или наука о движении» была опубликована в двух томах в Петербурге в 1736 г. (Euler L. *Mechanica sive motus scientia analytice exposita...* Petropoli, 1736. Т. 1, 2).

² *Нелепо, как это делают некоторые, приводит выдержки из Св. Писания в доказательство того, что Земля неподвижна, а Солнце движется.* — О нелепости ссылок на Св. Писание убедительно говорилось на публичном собрании Петербургской Академии наук 2 (3) марта 1728 г. Оно было посвящено обсуждению вопроса: «Можно ли одними лишь астрономическими фактами доказать, какова истинная система мира? И движется Земля или нет?». С речами выступили астроном Ж. Н. Делиль и механик и физик Д. Бернулли, убедительно показавшие, что естественнонаучные вопросы необходимо решать научными методами. Эта по существу первая в Петербурге лекция в защиту учения Н. Коперника произвела очень сильное впечатление на слушателей, особенно на научную молодежь. С тех пор петербургские ученые считали, что вопросы науки должны решать ученые и с помощью научных методов, тогда как представители церкви должны решать вопросы религии, не вторгаясь в область науки. И хотя в 1728 г. подготовленный академическим переводчиком С. М. Коровиным русский перевод речей Делиля и Бернулли Академия наук напечатать не решилась, однако в издававшемся Академией приложении к газете «Санкт-Петербургские ведомости», журнале «Примечания на „Ведомости“» за 1728—1736 гг. много статей такой направленности было опубликовано на русском и немецком языках (журнал, как и газета, издавались на двух языках), в том числе и отрывки из речей Делиля и Бернулли. Они были включены в серию статей Л. Эйлера «О Земле» (1732, ч. 6—12, 49, 50). Речи Делиля и Бернулли были опубликованы только на французском языке. Теперь их полный русский перевод с комментариями можно прочесть в кн.: Источники по истории астрономии России XVIII в. / Сост. и пер. Н. И. Невской. СПб., 2000. С. 46—66, 115—121.

³ *Итак, в любом случае не подлежит сомнению, что причина падения камня не в самом камне, это всегда внешняя причина...* — Эти слова Эйлера особенно интересны, так как они предвосхитили трактовку тяготения, предложенную А. Эйнштейном в 1915 г. Ведь именно Эйнштейн утверждал, что тяготение является свойством пространства, а не самих тел, как полагал Ньютон. См. коммент. 2 к письму 11 и 1 к письму 46.

Письмо 73

¹ *Одни говорят, что всем телам присуща некая склонность к покою...* — Эйлер излагает точку зрения древнегреческого ученого и философа Аристотеля Стагирита. Взгляды Аристотеля, канонизированные католической церковью, продержались в науке вплоть до XVII в. С ними пришлось бороться еще Г. Галилею. В XVIII в. эту точку зрения развивал, в частности, Кастель в своем трактате «О всемирном тяготении» (1724).

² *Другие наши противники более опасны, ибо это — знаменитые вольфианцы.* — Вольфианцы — последователи знаменитого в XVIII в. в Германии немецкого философа-рационалиста

Христиана Вольфа (1679 — 1754). Его философия эклектически объединяла взгляды различных ученых и философов древности и его современников. Петербургские ученые поддерживали личные связи с Х. Вольфом, добрым человеком и хорошим педагогом, почетным членом Петербургской Академии наук. В Петербурге хорошо знали работы Вольфа, но выступали против его философии. «Физика» Вольфа была включена Ж. Н. Делилем в список книг, которые должен был прочесть каждый желающий наблюдать в Петербургской обсерватории. Эту книгу, как известно, переводил на русский язык М. В. Ломоносов. Кстати, он учился у Вольфа в Германии, хотя также не стал сторонником вольтфианской философии. Эйлер, В. К. Тредиаковский (1703—1769) и другие петербургские ученые резко отвергали философию Х. Вольфа. Эйлер еще в письмах из Петербурга критиковал «Космологию» Вольфа, изданную в 1731 г., и другие его философские произведения. В опубликованном письме к Вольфу от 16 октября 1741 г. (уже из Берлина) Эйлер решительно возражал против трактовки Вольфом основных проблем механики (см.: *Эйлер Л. Письма к ученым. М.; Л., 1963. С. 72—79*). Эта критика повторена Эйлером в «Письмах к немецкому принцессе». В 1748 г. Эйлер возглавил оппозицию теории монад Лейбница — Вольфа и за три года до этого активно поддержал И. Г. И. Юсти (ум. 1771), противника монад, получившего в 1745 г. премию Берлинской Академии наук за работу о монадах.

³ *...всякое тело по своей природе стремится изменить свое состояние.* — Эта концепция развивалась Лейбницем, чьим учеником был Вольф.

⁴ *Именно на этих двух положениях основана наука о движении, называемая механикой.* — Эйлер имеет в виду механику И. Ньютона, основанную на законе инерции, формулировку которого он и приводит в конце этого письма, заимствовав ее из «Начал» Ньютона, изданных в 1687 г. Здесь и далее Эйлер широко использует материалы своей «Механики», опубликованной в Петербурге в 1736 г., в том числе и критику ошибок Вольфа. См. также коммент. 1 к письму 71.

Письмо 74

¹ *Это свойство [сохранять одно и то же состояние, будь то покой или движение], которым наделены все тела, называется инерцией.* — Инерция — от латинского слова *inertia* — букв. «вялость», «бездействие», «лень» — свойство тела при взаимной компенсации внешних воздействий сохранять свое состояние движения или, точнее, двигаться равномерно и прямолинейно. Этот частный закон инерции был открыт Г. Галилеем в 1632 г. и сформулирован И. Ньютоном в «Математических началах натуральной философии» (1687) в более общей форме для состояния покоя или равномерного прямолинейного движения. Закон инерции — частный случай закона сохранения количества движения системы.

Письмо 75

¹ *И то и другое равным образом требует всемогущества Божьего, а потому данный вопрос уже не входит в ведение науки.* — Эйлер, как и другие петербургские ученые, после публичного собрания местной Академии наук 2 марта 1728 г. считал, что научные вопросы должны решаться учеными, тогда как вопросы религии, в частности и всемогущества Бога, входят в компетенцию церкви, а не науки (см. коммент. 2 к письму 71). Разграничение сфер компетенции науки и церкви в условиях XVIII в. было попыткой освободить науку от контроля со стороны церкви. Петербургские ученые обычно указывали, что церковь вправе контролировать богословские вопросы и вопросы своего внутреннего управления. Эйлер здесь подчеркнуто отказывается обсуждать вопрос о всемогуществе Бога как не относящийся к ведению науки.

Письмо 76

¹ ...насколько заблуждаются многие известные ученые, которые... утверждают, что все тела наделены силами, беспрестанно изменяющими их состояние. Именно так рассуждал великий Вольф. — См. коммент. 2 к письму 73.

² Эти элементы — простейшие субстанции. — У Эйлера êtres simples — букв. «простые существа».

³ Простейшая субстанция называется также монадой. — Монада — от греческого μοναχ — «единица», «неделимое» — термин для обозначения простейшего, неделимого единства, вначале был арифметическим понятием. Пифагор (около 570—500 до н. э.) придал этому термину метафизическое значение, рассматривая монаду как принцип всех вещей. Выдающийся немецкий ученый-энциклопедист Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646—1716) в своей идеалистической философии рассматривал монады как обладающие самодвижением самостоятельные духовные сущности, из которых якобы состоит мир. Связь между монадами Лейбниц считал проявлением предустановленной Богом гармонии. Наиболее подробно эти взгляды изложены в учении Лейбница о монадах «Монадологии», изданной в 1714 г. Здесь и далее Эйлер подробно анализирует взгляды Лейбница и Вольфа о монадах и предустановленной гармонии, подвергая их уничтожающей критике. Напомним, что Эйлер возглавлял оппозицию теории монад. См. коммент. 2 к письму 73.

⁴ Таковы основания системы монад. — Представление о монадах, «одушевленных атомах», из которых состоит мир, восходит к античности. Система монад была предложена Лейбницем в 1714 г. К 1760 г. она уже действительно не вызывала такого шума, как прежде. В 1748 г. Эйлер возглавлял в Германии движение против теории монад, так что он внес свою оцутиную лепту в то, чтобы шум по поводу теории монад прекратился. См. коммент. 2 к письму 73.

⁵ Люди этого толка [которые полагают, что дух — не более как смесь материальных частиц] не имеют ни малейшего понятия о природе тел; однако же почти все вольнодумцы разделяют это ложное мнение. — Здесь и далее Эйлер неоднократно возвращается к критике вульгарно-материалистического взгляда, согласно которому мысль материальна, а разум — не что иное, как смесь материальных частиц. Эти взгляды ведут свое начало от представлений древнегреческого философа Анаксагора (ок. 500—428 до н. э.) — непоследовательного материалиста, считавшего мировой ум, «нус», первоначальной движущей силой развития. Сам «нус» Анаксагор полагал материальным, самым тонким и чистым из всех веществ, т. е. действительно «смесью материальных частиц», как пишет здесь Эйлер.

Письмо 77

¹ ...было бы, однако, нелепо утверждать, что... сила тяжести действует с помощью духа... что небесные тела, поскольку они меняют направление и скорость своего движения, подчиняются действию духов. Этому мнения придерживались некоторые древние философы. — В древнегреческих народных поверьях существовало представление, что мир полон духов или божеств, по-гречески «демонов» (от греч. δαίμων — «бог», «дух», «гений»). Греки полагали, что свой демон есть у каждого человека, а также у каждой планеты. Из народных поверий эти представления постепенно проникли в религию и философию (эти взгляды можно найти и у Платона), а затем и в христианскую культуру. В «Христианской космографии» Козьмы Индикоплова небесные тела двигали ангелы (от греч. αγγελω — «извещаю», букв. «вестники»), которым Бог поручал передвигать планеты, а демоны были объявлены духами зла. Эйлеру в Петербурге еще пришлось бороться с подобными взглядами. См. коммент. 1 к письму 32.

² ...за исключением одушевленных тел, т. е. тел людей и животных, все изменения состояния, происходящие с другими телами, вызываются телесными причинами, к которым духи не имеют

никакого отношения. — Здесь Эйлер проявил себя ученым-материалистом, широко используя при изложении проблем механики неодушевленных тел свои работы, выполненные еще в Петербурге в 1736 г. См. коммент. 1 к письму 71.

³ ...источник сия во все времена был камнем преткновения для всех философов. — Эйлер подробно анализирует и отвергает взгляды различных философов от Аристотеля до Р. Декарта, Г. В. Лейбница и Х. Вольфа.

⁴ Итак, поскольку любая причина, способная изменить состояние тел, называется силой, то необходимо, чтобы именно непроницаемость самих тел вызвала силы, изменяющие их состояние. — Непроницаемость тел как источник сил, изменяющих состояние тел, и как основное свойство тел Эйлер рассматривает так же, как и Ньютон. Здесь и далее Эйлер излагает основные идеи своей «Механики». См. коммент. 1 к письму 71.

Письмо 78

¹ ...эфир заполняет все космическое пространство между небесными телами. — Эйлер много пишет об эфире, что дало в свое время основание некоторым авторам утверждать, что для объяснения физических явлений он использовал положения картезианской физики. Однако это совершенно ошибочное мнение. Эфир Эйлера совсем не похож на эфир Декарта. Это в точности тот же эфир, как и у Ньютона, да и вводил его Эйлер для объяснения тех же затруднений, с которыми сталкивался Ньютон (например эфир, заполняющий небесное пространство, в котором распространяется свет) (подробнее об этом см. в статье: Григорьян А. Т., Кирсанов В. С. «Письма к немецкой принцессе» и физика Леонарда Эйлера // Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука. М., 1988. С. 294—303). Однако Эйлер использует понятие эфира также для объяснения явлений оптики, электричества и магнетизма.

² Итак, поскольку все чем-то заполнено... — См. коммент. 4 к письму 77.

³ ...обоснование теории покойного *г-на де Мопертюи*, вызвавшей столь много похвал и столь же много возражений. — Мопертюи умер в 1759 г. Эйлер активно защищал Мопертюи от нападок его оппонентов, главным образом вольфианцев. Одним из оппонентов, нападавших на принцип наименьшего действия, был философ и математик из Гааги С. Кёниг, выступивший в 1753 г. против Мопертюи и получивший достойную отповедь Эйлера. Работами Мопертюи о принципе наименьшего действия и о фигуре Земли (1738) Эйлер восхищался и защищал их еще из Петербурга (см. переписку Эйлера с Мопертюи: Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель. Л., 1967. С. 213—215). См. коммент. 2 к письму 49.

⁴ В основе этой теории лежит принцип наименьшего действия. — Сформулированный Мопертюи, этот принцип оказался применимым и плодотворным не только в классической механике, но и в квантовой, притом что в этом последнем случае нужно иметь в виду не только минимумы, но вообще экстремумы.

⁵ ...некоторые лица, недоброжелательно относящиеся к *г-ну де Мопертюи*... — См. коммент. 2 к письму 49.

Письмо 79

¹ Но этот вид ограничивается единственно одушевленными телами (*corpus animées*), которых Создатель столь очевидно выделял из других тел; непозволительно смешивать их и в философии. — Здесь и далее критика Эйлером вольфианцев за смешение волевых действий разумных существ с механическим движением неодушевленных тел ведется с позиций петербургских ученых и почти буквально совпадает с критикой аналогичных вопросов в «Феофании» В. К. Тредиаковского (см.: Тредиаковский В. К. Избранные произведения. М.; Л., 1963. С. 279—303, Эпистола V).

² ...притяжение подобало бы отнести к третьему виду сил, которые не будут ни телесными, ни духовными. — Очень тонкое замечание. Ведь эйнштейновское понимание тяготения как свойства самого пространства действительно выводит тяготение за пределы телесных и духовных объектов.

³ ...потребовалось бы неопровержимо доказать, что силы, притягивающие тела друг к другу, исходя не от тонкой материи, окружающей все тела; но никто еще не доказал невозможность этого. — Опять ньютоновская трактовка эфира. См. коммент. 1 к письму 78.

⁴ Скорее кажется, что Создатель нарочно заполнил все небесное пространство... — У Эйлера *toutes les espaces célestes*, букв. «все небесные пространства».

⁵ Если бы случилось хотя бы однажды где-нибудь в мире, что два тела притянулись бы, а пространство между ними не содержало бы тонкой материи, то пришлось бы признать реальность притяжения. — Вновь приближение к эйнштейновской трактовке тяготения!

⁶ Но если бы для духа, поскольку он дух, невозможно действовать на тела, то эта невозможность с необходимостью распространяется и на самого Бога. — Эйлер весьма логично распространяет законы материального мира и на Бога, на минуту забыв, что вопрос всемогущества и других свойств, приписываемых Богу, он недавно вывел из сферы влияния науки. См. коммент. 1 к письму 75.

⁷ Я настолько хозяин членов своего тела, что могу приводить их в движение по своей воле. То же самое можно сказать и о животных. — Здесь и ниже Эйлер провозглашает право человека и животных по своей воле управлять своим телом. Он решительно восстает против представлений Декарта, лишившего животных всякой возможности чувствовать и рассуждать, и особенно против Х. Вольфа и его последователей, которые даже человека лишили права свободной воли, действовать и мыслить, приравняв человека к простой машине. Таким образом, Эйлер весьма наглядно доказал, что нематериальные субстанции, такие как воля и мысль, вполне реально могут воздействовать на материальные тела людей и животных. Критика Эйлером картезианства и вольфианства почти буквально совпадает с критикой В. К. Тредиаковского. См. выше, коммент. 1.

⁸ Те же самые философы... отрицают и первый принцип механики — о сохранении состояния... — Здесь и далее Эйлер возвращается к критике ошибок вольфианской трактовки механики, в частности, закона инерции, широко пользуясь своими работами по механике, выполненными в Петербурге. См. коммент. 1 к письму 71.

⁹ Именно так, из-за поверхностного взгляда на вещи, и впадают в грубейшие ошибки. — Такой была и геоцентрическая система мира Птолемея, принимавшая видимые движения планет и звезд по небосводу за действительные. Эта грубейшая ошибка была исправлена Н. Коперником, сумевшим за сложными видимыми движениями разглядеть истинные движения планет. Эйлер явно думал здесь о Копернике и публичном собрании Петербургской Академии наук 2 марта 1728 г. (см. коммент. 2 к письму 71). Однако Эйлер еще не решился упомянуть здесь Коперника и Птолемея. Лишь после 1761 г. (когда М. В. Ломоносову удалось открыть атмосферу Венеры и окончательно был снят запрет с коперниканской темы) в письмах к принцессам, датированных после этого открытия (оно было сделано 6 июня 1761 г. н. ст.), Эйлер вновь вернулся к прежним вопросам.

¹⁰ ...они очень похваляются возвышенностью своей философии, недоступной простонародью. — Эйлер язвительно подчеркивает высокомерность Вольфа и его последователей, их пренебрежение к простому народу, у которого, как Эйлер показал дальше, порой гораздо большее здравого смысла, чем у многих высокомерных философов XVIII в. Демократизм и уважительное отношение к простому труженику Эйлер вынес из воспоминаний детства (его отец был скромным сельским священником). В Петербургской Академии наук также царил демократизм, так как большинство приехавших в Россию ученых-иностранцев были представителями третьего сословия, как, впрочем, и первые русские ученые.

Том второй

Письмо 80

¹ *...прежде существовали столь нелепые представления о свойствах тел...* — Здесь Эйлер имеет в виду доныютоннанскую науку XVII в. и более раннего периода.

² *...философы, называемые материалистами.* — Здесь Эйлер вновь под материалистами понимает вульгарных материалистов, которые либо полагают разум и мысль материальными, либо вовсе отрицают их существование.

³ *...все эти способности несовместимы со свойствами тел.* — Эйлер имеет в виду неодушевленные тела.

⁴ *Существа... должны иметь совершенно иную природу.* — Здесь Эйлер имеет в виду одушевленные существа.

⁵ *Телам присущи только протяженность, инерция и непроницаемость.* — Это свойства, необходимые и достаточные, которые приписывал неодушевленному физическим телам И. Ньютон. Эйлер, как он неоднократно подчеркивает в «Письмах к немецкой принцессе», полностью разделял такое мнение, как и другие петербургские ученые.

⁶ *...что Бог одарил тела свойством взаимного притяжения.* — Намек на предисловие ко второму изданию «Начал» И. Ньютона, написанное в 1713 г. его учеником Роджером Коутсом (R. Cotes, 1682—1716). Предложенная Коутсом философская трактовка тяготения была подхвачена английскими сторонниками Ньютона. Эйлер и другие петербургские ученые, работавшие в Академии наук в первой половине XVIII в., резко возражали против мистической трактовки тяготения. Это получило отражение и в настоящих «Письмах».

⁷ *...я твердо убежден, что думаю сам, и ничто не может быть достовернее.* — В этих словах Эйлера звучит гордость настоящего ученого, не желающего уступать и Богу свое право мыслить.

⁸ *...мы не можем сказать, что такое дух, ибо нам совершенно ничего не известно о его природе.* — И сегодня приходится признать, что в этом вопросе современная наука недалеко ушла от Эйлера.

⁹ *...это нелепое мнение после тех объяснений, которые я уже имел честь представить В. В.* — Здесь Эйлер вновь возражает против допущения, что материя может мыслить. Хотя высший продукт материи мозг действительно может мыслить, вопреки возражениям Эйлера, однако сам продукт мозга — мысль действительно нематериальна.

¹⁰ *...единение каждой души с ее телом... которое мы никогда не сможем постигнуть.* — Здесь Эйлер касается весьма тонкого и сложного вопроса о соотношении вполне материального тела человека и его мыслящего мозга с нематериальными мыслительной и другой духовной деятельностью. Хотя многое сегодня стало гораздо понятнее, чем во времена Эйлера, во всех тонкостях этот вопрос не разрешен и сегодня.

¹¹ *...окончания нервов, которые ведут к мозгу и сходятся там в некоем месте.* — Здесь рассуждения Эйлера о «душе» приобретают вполне конкретную материалистическую окраску. Становится ясно, что под деятельностью «души» ученый понимает разнообразную духовную деятельность человека, которая неразрывно связана с деятельностью мозга.

Письмо 81

¹ *...взаимодействие души и тела, которые мы находим у каждого человека и даже у любого животного...* — Эйлер, как видно из этого письма, не выделяет человека из мира животных, подчеркивая единство человека и животных в изучении окружающего их мира, что было характерно для петербургских ученых. Они рассматривали человека как следующую, более высокую ступень развития животного мира. В Св. Писании говорится, что душа есть только у человека.

С этим согласна и современная медицина, которая считает, что человека от животных отличает психическая деятельность.

² ...зрение, слух, обоняние, вкус и осязание. — Перечисленные Эйлером 5 органов чувств и соответствующие им зрительные, слуховые, обонятельные ощущения, относимые к дистантным, т. е. действующим на расстоянии, и осязательные и вкусовые, так называемые контактные, действующие при непосредственном соприкосновении, были выделены уже древними греками. В настоящее время насчитывают около двух десятков различных анализаторных систем, отражающих воздействие на рецепторы разных факторов внешней и внутренней среды организма. Наиболее древними по происхождению являются вибрационные ощущения. Осязание оказалось довольно сложным ощущением. Выяснилось, что кожа обладает температурной, тактильной и болевой чувствительностью. Тактильные ощущения, объединяясь с мышечно-суставной чувствительностью, образуют осязание. Статические ощущения, или гравитационная чувствительность, отражают положение тела в пространстве. Рецепторы этих ощущений находятся в вестибулярном аппарате. Гравитационная чувствительность, изученная в последние годы, необходима для правильного отражения пространства другими органами чувств. Были выделены также кинестетические ощущения, т. е. ощущения движения и положения отдельных частей тела в пространстве. Рецепторы этих ощущений расположены в мышцах и сухожилиях. Множество рецепторов было обнаружено на внутренних органах, от которых поступают так называемые органические ощущения. Выделены некоторые органические ощущения, такие как чувство голода и жажды, точная локализация рецепторов которых пока не выяснена. Оказалось также, что чрезмерное воздействие на рецепторы вызывает болевые ощущения, а полезные для организма ощущения — приятные эмоции. Эмоционально окрашены и восприятия различных цветов. Так, например, зеленый цвет успокаивает, тогда как красный вызывает тревогу. Об этом см. у австрийского ученого Конрада Лоренца (*Lorenz K. Evolution modification of behavior. Chicago, 1965. В рус. пер.: Лоренц К. Кольцо Соломона. М., 1970; Человек находит друга. М., 1971*). За эти работы зоопсихолог К. Лоренц получил Нобелевскую премию в области медицины в 1973 г.

Узко локалистические подходы к частям головного мозга имели место еще и в конце 40-х гг. XX в. (*Шмарьян А. С. Мозговая патология и психиатрия. М., 1949. Т. 1*). Однако они получили достойный отпор в 1977 г. (*Доброхотова Т. А., Брагина Н. Н. Функциональная асимметрия и психология очаговых поражений мозга. М., 1977; Лоренцер А. Археология психоанализа: Интимность и социальное страдание / Пер. с немецкого. М., 1996. (Сер. «Библиотека психоанализа»); Адрианов О. С. Актуальные проблемы учения об организации функций мозга // Методологические аспекты науки о мозге. М., 1983. С. 81—91*).

³ ...человек может ничего не видеть, хотя изображение, запечатленное на сетчатке его глаза, будет совершенно отчетливым. — Эйлер подчеркивает, что, для того чтобы хорошо видеть какой-либо предмет, необходимо правильное действие всех звеньев зрительного аппарата. В начале своей работы в Петербурге Эйлер вместе с Д. Бернулли изучал зрительный нерв, повреждение которого было достаточным, для того чтобы человек ничего не мог увидеть, даже если на дне его глаза получалось вполне отчетливое изображение объекта. Как известно, Эйлер потерял зрение, проводя наблюдения Солнца и солнечных пятен в Петербургской астрономической обсерватории. Вот почему работе органа зрения он всегда уделял большое внимание.

⁴ ...в мозге имеется некий участок, где сходятся все нервы... — Эйлер имеет в виду мозолистое тело. Именно здесь он размещал и «обитель души», подчеркивая тем самым, что вся психическая деятельность человека зависит от деятельности нервной системы и ее высшего отдела — головного мозга.

⁵ ...душа здесь пассивна, она только воспринимает воздействия, идущие от органов тела. — Здесь Эйлер очень четко отмечает важность восприятия сигналов из внешнего мира, на основе которых только и может действовать человек, изучая окружающий мир и ориентируясь в нем. Как выяснилось в настоящее время, у человека все органы чувств равнозначны. У животных может преобладать какой-либо один орган. Так, например, у орлов — зрение, у кротов — обоняние и т. п.

⁶ ...также и ощущение ограничено этим участком. — Говоря об активной деятельности человека, основанной на ощущениях, полученных из внешней среды, Эйлер вполне правильно представлял себе передачу импульсов из мозга по нервам, которые и приводят в движение тело. Однако для этого необходимо, чтобы нервная и опорно-двигательная системы человека были в порядке.

⁷ *Какая же поразительная способность души... судить о внешних причинах... вызвавших эти изменения!* — Очень тонкое замечание. Действительно, весьма незначительные, казалось бы, раздражения нервных окончаний позволяют мозгу безошибочно распознавать, что происходит во внешнем, да и во внутреннем мире человека.

⁸ *Насколько слабым должно быть воздействие, воспринимаемое в данном случае нервами!* — Как показали исследования, глаз человека способен заметить свет с энергией в $2 \cdot 10^{-10}$ эрг/с, т. е. фактически квант света! Это — порог темновой, или сумеречной, чувствительности глаза. Вместе с тем днем глаз может различать объекты, яркость которых больше приведенной в 10 миллиардов раз!

⁹ ...эти машины — ничто по сравнению с нашими телами и телами всех животных. — Здесь Эйлер намеренно подчеркивает, насколько человек и животные совершеннее любой машины. Вероятно, Эйлер хотел еще раз показать, как несправедливо называть человека или любое животное «машиной», как это делали Р. Декарт, Ж. О. Ламетри и другие ученые XVIII в. Петербургские ученые, как и Эйлер, отвергали подобные сравнения как весьма грубые (см. «Феофтию» В. К. Тредиаковского и «Письма» А. Д. Кантемира).

Письмо 82

¹ ...с человеком, находящимся в камере-обскуре. — Эйлер здесь приводит французское название *chambre-obscure* (вместо обычного латинского *camera-obscura*). Он вновь вспоминает о своей работе в Петербургской обсерватории, где нередко вел наблюдения. См. коммент. 5 к письму 28.

² ...тем не менее они вполне способны дать душе верное представление об этих объектах. — Нельзя не согласиться с этим утверждением Эйлера о том, что человек получает очень верное представление об окружающем мире с помощью имеющихся у него органов чувств.

³ ...душу можно сравнить с человеком, управляющим марионетками... — Характерный пример, так как, по свидетельству современников, Эйлер очень любил театр марионеток.

⁴ душа вовсе не столь безучастна к ощущениям: она гораздо глубже в них заинтересована. — Весьма тонкое замечание. Как теперь выяснено, все ощущения человека имеют яркую эмоциональную окраску. Все полезное для организма человек воспринимает в сопровождении приятных эмоций, тогда как опасное для здоровья и жизни внешнее или внутреннее воздействие воспринимается в сопровождении отрицательных эмоций и болевых ощущений. Известны случаи, когда в экстремальных ситуациях чувствительность человека и его способность к действиям значительно повышается.

⁵ Первая из них — система влияния (инфлюкса)... — От латинского слова *influo* — «влияться», «проникать», «распространяться». Предполагает взаимовлияние между телом и душой, т. е. между телесными и духовными свойствами и действиями человека, о которых Эйлер говорил выше.

⁶ Одна из этих теорий была выдвинута Декартом и получила название системы случайных причин. — Дуалистическая система, объясняющая взаимодействие души и тела при посредстве Бога, пользовалась признанием среди последователей Декарта. Эта концепция не принадлежит Декарту, а была выдвинута его учеником, французским философом-идеалистом Никола де Мальбраншем (*Malebranche*, 1638—1715).

⁷ ...не было бы никакой необходимости создавать столь совершенную машину, как наше тело, ибо любая грубая груда железа оказалась бы пригодной для этой цели. — Очень тонкое

замечание Эйлера. Работая в Петербургской Академии наук, где в распоряжении ученых бала богатейшая в то время коллекция анатомических препаратов Ф. Рюйша, Эйлер и его коллеги наглядно убедились, что различные органы тела человека — не что иное, как прошедшие длительное развитие органы животных. А для системы случайных причин подошла бы действительно «любая очень грубая гряда железа».

⁸ *Лейбниц Готфрид Вильгельм* (Leibniz Godfried Wilhelm, 1646—1716) — великий немецкий математик, философ-идеалист; Лейбниц был, независимо от Ньютона, создателем исчисления бесконечно малых величин. Философские воззрения Лейбница оказали большое влияние на последующее развитие некоторых направлений идеалистической философии.

⁹ *...после того как великий Лейбниц противопоставил ей свою систему предустановленной гармонии...* — Эта теория была выдвинута Лейбницем для обоснования «принципа непрерывности», положенного им в основу своей философии. Несмотря на идеалистическое обоснование, этот принцип стал одной из первых формулировок идеи развития в новой философии, с помощью которого Лейбниц пришел к выводу о родстве растений, животных, человека и неживой природы. Поскольку Эйлер не сомневался в таком родстве, то нелепости лейбницева обоснования всемирной гармонии между всеми монадами и Богом, извечно существующей во Вселенной и заранее установленной Богом, вызвали резкие нападки со стороны Эйлера и его петербургских коллег. Наиболее подробно эти взгляды Лейбница изложил в работах: «Теодицея» (опубликована в 1710 г.) и «Монадология» (опубликована в 1714 и 1720 гг.). Система предустановленной гармонии Лейбница была разработана немецким философом Х. Вольфом, который довел ее до абсурда. Эти взгляды постоянно вызывали критику со стороны петербургских ученых, в том числе и Эйлера. См. коммент. 4 к письму 76, коммент. 2 к письму 73.

Письмо 83

¹ *...все те, кто подвергал ее сомнению, слыли невеждами или вольнодумцами весьма ограниченного ума.* — Это письмо содержит весьма ядовитую критику системы предустановленной гармонии, сторонников которой было особенно много в Германии, в том числе и в Берлинской Академии наук. Среди них можно назвать И. Г. Зюльцера (1720—1779), И. Б. Мериана (1723—1807) и др. Несомненно, их хорошо знали и ученицы Эйлера.

² *...Бог... мог изготовить машину...* — Здесь и далее Эйлер постоянно подчеркивает «механический» характер рассуждений Лейбница и его сторонников, где человек приравнивается к машине.

³ *...если же устройство моего тела разрегулировано настолько...* — Вновь Эйлер подчеркивает «механицизм» рассуждений Лейбница, говоря о «разрегулированном устройстве» тела.

⁴ *Я бы по-прежнему имел честь писать письма В. В., хотя не знаю, как в этом случае они могли бы дойти до В. В.* — Беспощадная критика взглядов Лейбница!

⁵ *Покойный 2-й Лейбниц сравнивал душу и тело с двумя часами, которые всегда показывают одинаковое время...* — Этот пример рассмотрен в работе Лейбница «Второе объяснение системы о движении между субстанциями».

⁶ *...это было бы, однако, чистойшей иллюзией.* — Эйлер вновь подчеркивает абсурдность размышлений Лейбница, показывая, как в этих суждениях весьма простой и логический вывод необходимо считать иллюзией.

⁷ *...нельзя отрицать, что Бог мог создать машину, действующую всегда согласно с моей душой.* — Во времена Эйлера нельзя было отрицать возможность того, что Бог мог создать такую машину, без опасения прослыть безбожником.

⁸ *Но мне кажется, что мое тело принадлежит мне в силу других причин, а не благодаря гармонии, какой бы совершенной она ни казалась.* — С каким достоинством говорит ученый о принадлежности ему собственного тела, без ссылок на Бога и предустановленную гармонию!

⁹ ...В. В. не пожелает согласиться с теорией, основанной единственно на том принципе, что дух не может влиять на тело, а тело в свою очередь неспособно воздействовать на душу и сообщать ей какие-то идеи. — Еще один выпад против нелогичности рассуждений Лейбница.

¹⁰ ...несбыточные фантазии его сторонников... — «Несбыточные фантазии» сторонников Лейбница — несомненно, разработка его взглядов Х. Вольфом и вольфианцами.

¹¹ ...однако способ этого воздействия для нас непостижим. — См. коммент. 5 к письму 81

¹² Так, например, если я прочту в газете известие о смерти папы Римского... — Описанный Эйлером эпизод с папой Римским, доказывающий абсурдность этих взглядов Лейбница, тем более привычен для ученого, что в «Примечаниях на „Ведомости“» в Петербурге он и его коллеги весьма часто прибегали к различным историям из жизни пап.

¹³ ...ли газета, ни мое чтение не играют никакой роли в этом акте познания, поскольку они имеют отношение только к моему телу и органам чувств, никак не связанным с моей душой. — Здесь Эйлер доводит до абсурда цель рассуждений Лейбница.

¹⁴ Это не более чем простая условность, совершенно излишняя для познания как такового. Но, невзирая на это, я буду продолжать мои наставления. — Эйлер весьма остроумно заканчивает свое письмо замечанием о том, что если бы Лейбниц был прав, то всякое обучение оказалось бы просто невозможным, да и ненужным. Однако многовековая практика человечества наглядно доказала обратное.

Письмо 84

¹ Против теории предустановленной гармонии выдвигают еще и другое возражение, а именно, что она полностью лишает человека свободы. — Здесь Эйлер имеет в виду противоречие между системой предустановленной гармонии и свободой человека. Он не ограничивается, как будет видно в дальнейшем, лишь свободой воли, рассматривая также свободу мышления, желаний и т. п.

² ...еще при покойном короле... — Имеется в виду прусский король Фридрих Вильгельм I (1688 — 1740).

³ г-н Вольф преподавал в Галле... — Х. Вольф был профессором университета в Галле, где, в частности, излагал и теорию предустановленной гармонии.

⁴ ...пригрозив ему виселицей, если он не выедет через 24 часа: — Эйлер пишет буквально: «de chasser M. Wolff de Halle, sous peine d'être pendu s'il s'y trouve encore au bout de 24 heures».

⁵ Тогда этот философ нашел себе прибежище в Марбурге, где я вскоре после этого имел случай с ним беседовать. — Встреча и разговор с Х. Вольфом произошли в начале 1727 г., когда Эйлер по дороге в Петербург проезжал через Марбург.

⁶ ...сторонники предустановленной гармонии всегда будут испытывать трудности, защищая свободу решений, которые принимает душа. — Эйлер вновь подчеркивает, что, по мнению Лейбница, душа человека, так же как и его тело, — не что иное, как машина.

⁷ Однако не следует вменять им в вину подобные заключения, хотя последние вполне естественно вытекают из их теории. — Это замечание Эйлера весьма знаменательно. Беспощадно критикуя сторонников Лейбница, Эйлер призывает своих учениц не обвинять авторов теории лично в безбожии и аморальности. По-видимому, на это повлияли события, пережитые им в Петербурге, где ученым приходилось неоднократно сталкиваться с обвинениями в безбожии и аморальности за одно лишь признание справедливости коперниканского учения. В 1738 г. в Петербурге был сожжен капитан флота А. Возницын, проходивший ранее стажировку в Петербургской обсерватории. По существу он был обвинен в том, что, «начитавшись Библии», слишком вольно истолковал прочитанное. Следует отметить, что в Петербургской обсерватории было принято собирать разные издания и переводы Библии и сравнивать их для выяснения истории происхождения этого памятника. Вот почему, резко критикуя научные взгляды своих оппонентов, Эйлер в то же время всячески стремился отвести от них лично опасные обвинения в безбожии.

⁸ *чрезвычайно трудно внести в этот вопрос полную ясность.* — Причинная обусловленность волевых решений и человеческих поступков не сбрасывает со счетов ни разума человека, ни его совести, ни оценки его действий. Ведь человек не только продукт обстоятельств и истории, но и творец их. В процессе творчества он реализует свои возможности, перед ним открывается множество путей и целей. Человек обладает свободой желания и свободой выбора, и во многом от него самого зависит, какую из возможностей он выберет, сумеет ли максимально проявить себя на выбранном пути. Здесь решает его воля, однако не «чистая», а связанная со всей структурой личности, с ее разумом, чувствами и опытом, с мировоззренческими ценностями. О критическом психологическом аспекте личности см.: *Politiker G. Kritik der Grundlagen der Psychologie.* Frankfurt a. / M., 1977. В этой работе анализируется психологический подход, близкий к подходу Л. Эйлера.

Письмо 85

¹ *Философы вольфианской школы доходят до того, что считают духовные сущности явлениями того же порядка, что и телесные субстанции, и называют те и другие монадами...* — См. коммент. 3 к письму 76.

² *...и действий души.* — Здесь и далее Эйлер, говоря о «душе», как правило, использует термин «esprit», а не однозначный — «âme». Если последний имеет один перевод — «душа», то второй — очень многозначен, его можно перевести как «дух», «разум», «сознание» и т. п.

³ *Ибо дух без свободы — уже больше не дух, так же как тело без протяженности перестает быть телом.* — Здесь Эйлер вновь противопоставляет строго детерминированные движения неодушевленного тела и души, понимаемой им как разум. Это — типично петербургская точка зрения. Весьма смелое, в то время довольно рискованное высказывание Эйлера о том, что сам Бог не может лишиться разума или души человека свободы, — также в духе популярных в Петербурге первой половины XVIII в. идей раннего русского Просвещения, весьма близкого к раннему французскому.

⁴ *Бог, сотворив души, наделил их тогда же стремлением к греху... поэтому безосновательны все жалобы на свойственную человеку греховность... они никак не затрагивают Божьей благодати.* — Весьма интересная попытка Эйлера устранить важное возражение против сложной теологической проблемы — как совместить всемогущество и благодать Бога с царящим в мире злом. Это возражение выдвигали и французские материалисты XVIII в.

⁵ *...действия людей столь же несвободны, как и движения шаров.* — Это мнение французских материалистов XVIII в. Петербургские ученые не разделяли такие взгляды.

⁶ *...это и есть истинное основание представлений о справедливом и несправедливом.* — В XVIII в. право базировалось не на действии, как сегодня, а на преступном намерении, вытекающем из «испорченной воли». За добровольное намерение совершить преступление человек нес ответственность. Так в то время, в том числе и в России, определялась «вменяемость действий разума». На этом строилось представление о справедливости и несправедливости.

Письмо 86

¹ *...в данном случае он не ошибется...* — Здесь Эйлер в лучших традициях петербургских ученых анализирует важное свойство человеческого сознания — довольно верно и критически оценивать свои поступки. Современные нейрофизиологи установили и механизм действия таких процессов. См.: *Бехтерева Н. П.* Здоровый и больной мозг человека. Л., 1980.

Письмо 87

¹ *...Вселенная... стала бы просто машиной, подобной часам... по которым мы определяем время.* — Пример, заимствованный из «Начал» Ньютона. Считалось, что часовой механизм служит моделью ньютоновского мира. Однако петербургских ученых подобная трактовка не удовлетво-

рыла. Они ввели в эту механистическую картину Вселенной свои поправки. Далее Эйлер излагает критику ньютоновской механистической картины мира с позиций петербургских ученых.

² *...если только предоставить душам людей и животных некоторую власть над их телом... тогда уже нельзя будет считать систему мира просто машиной, а все события в ней — происходящими в силу необходимости...* — Весьма остроумное и глубокое дополнение к картине мира Ньютона. В отличие от других ньютоналистов XVIII в. петербургские ученые придавали большое значение роли живых и разумных существ во Вселенной. Именно жизнь, все живое, как полагали Эйлер и его коллеги, было способно внести в мир Ньютона, механистический и лишенный случайностей, элемент непредсказуемости и таким образом значительно дополнить и обогатить его.

³ *...подумать и о пагубных следствиях нынешней войны...* — Имеется в виду Семилетняя война.

Письмо 88

¹ *Но если бы... колдуны могли вызывать бурю...* — Здесь Эйлер использовал материалы петербургских ученых, активно боровшихся со всевозможными суевериями. В академическом журнале «Примечания на „Ведомости“» была даже опубликована статья под названием «Что о привидениях и колдунах разсуждать надлежит?» (1735, ч. 48—51).

² *Квинт Курций Руф* — римский писатель I в. н. э., автор «Истории Александра, царя македонцев».

³ *Так, например, Квинт Курций в своем описании деяний Александра Великого...* — Книга Курция, частично дошедшая до нас, использовалась в преподавании и была весьма популярна, в том числе в гимназии и университете при Петербургской Академии наук. Ее неоднократно переводили на русский язык. В числе переводчиков был и коллега Эйлера по Петербургской Академии наук С. П. Крашенинников (1713—1755). Его перевод печатался в Петербурге с 1750 по 1809 г.

⁴ *...движение моего сердца и крови (по сосудам) не зависят от моей воли...* — Здесь и далее, как истинный воспитанник Петербургской Академии наук, Эйлер демонстрирует хорошее знание анатомии. Он четко различает движения, которые человек может выполнять по своей воле, от произвольных движений сердца, дыхательных мышц, а также стенок кровеносных сосудов. Эти произвольные, т. е. не подчиняющиеся сознанию человека движения внимательно изучали петербургские ученые. Как выяснилось в настоящее время, отчасти все же можно управлять дыханием и другими произвольными движениями в организме человека. Это достигается с помощью специальной системы тренировки. Одна из них разработана, например, индийскими йогогами.

⁵ *А если подумать о пагубных последствиях нынешней войны* — Имеется в виду Семилетняя война.

⁶ *...души не подчиняются никакой силе или принуждению, и Бог управляет ими только посредством заповедей и запретов.* — Эйлер имеет в виду знаменитые 10 заповедей. В Библии они приведены в нескольких вариантах. В Ветхом завете — как 10 заповедей Моисея (Исход, гл. 20, 34; Второзаконие, гл. 5). В Новом завете — как нагорная проповедь Иисуса Христа (Евангелие от Матфея, гл. 5, 6, 22, ст. 35—40; Евангелие от Луки, гл. 6, ст. 20—49 и др.). Петербургские ученые тщательно штудировали и сравнивали разные издания Библии. В личной библиотеке Эйлера было несколько ее изданий. То же — у Ж. Н. Делиля, А. Д. Кантемира и др.

Письмо 89

¹ *...является ли наш мир наилучшим или нет, спорят столь часто...* — Этот вопрос поставил еще в XVII в. Г. В. Лейбниц. Эйлер и другие петербургские ученые решительно отказались считать наш мир лучшим, во всяком случае в отношении его социальной справедливости. Однако совершенство самой природы и целесообразность приспособления к ней растений, животных и человека вызывало особое восхищение петербургских ученых. Именно это привело их, вначале склонявшихся к атеизму, впоследствии к признанию Разумного Творца природы.

² ...Об этом свидетельствует само Св. Писание. — Эйлер имеет в виду, скорее всего, Библию, книгу Иова. 64 главы этой книги содержат описание всех несчастий, какие только могут обрушиться на голову человека.

³ ...все части глаза и их строение наилучшим образом соответствуют своему назначению — отчетливо изображать внешние объекты. — Эйлер вновь обращается к излюбленной петербургской теме — строению органа зрения и его удивительному соответствию всем потребностям животных и человека. Здесь и далее Эйлер широко использует материалы статей, публиковавшихся в 1728—1742 гг. в петербургских «Примечаниях на „Ведомости“», пользовавшихся огромной популярностью как в России, так и в Европе.

⁴ ...В. В. будет уже трудно понять, что когда-то могли быть люди, которые полагали, что весь мир создан по воле случая, без всякого обдуманного плана. — Эйлер имеет в виду античных атомистов Эпикура (341—270 до н. э.) и Лукреция Кара (99—55 до н. э.), а также и некоторых французских материалистов XVIII в. Петербургские ученые, штудировав их труды, не во всем соглашались с ними в объяснении природных явлений. Так, например, они решительно отвергали возможность мгновенного и случайного возникновения столь совершенного строения различных органов растений, животных и человека, отлично понимая, что такое совершенство — результат длительного исторического развития.

⁵ Вопрос о происхождении зла и о том, как можно совместить зло с высшей благодетелью Бога, всегда мучил философов и теологов. — Вопрос о происхождении зла в мире, созданном всемогущим и всеблагим Богом, действительно очень трудный в философии и теологии. Эйлер предлагает здесь свое решение этого вопроса, основываясь на взглядах петербургских ученых.

⁶ На этом основана любая религия, единственная цель которой — привести людей к спасению. — Это утверждение Эйлера вполне согласуется с положением петербургских ученых о разделении функций науки и религии в обществе. Наука должна изучать мир, а религия — воспитывать в людях добродетель и вести их к спасению души.

Письмо 90

¹ ...Бог, внимая молитвам верующих, не творит чудеса, хотя нет оснований отрицать, что Бог творил и творит иногда и теперь подлинные чудеса. — В принципе допуская возможность совершения Богом чудес, Эйлер все-таки придумал весьма сложное и противоречивое объяснение того, как Бог может исполнить молитвы верующих, не совершая при этом чудес. В петербургских «Примечаниях на „Ведомости“» Эйлер и его друзья решительно разоблачали всевозможные чудеса, горячо защищая те самые взгляды, которые Эйлер приписывает здесь вольнодумцам.

² ...зачем было создавать этот материальный мир... если бы не существовало разумных существ, которые могли бы им восхищаться... — Здесь Эйлер вспоминает слова И. Кеплера о разумном человеке как цели Творения. Во введении к «Космографической тайне» И. Кеплер писал: «Я уж не говорю о том, как важна та цель Творения, которую отрицают философы, тогда как мы видим, что Бог, подобно нашим архитекторам, принимается за сотворение мира по порядку и по правилам и так соизмеряет отдельные части, словно сам Он оглядывался на тот метод, которым станет впоследствии пользоваться при строительстве человек» (*Kepler J. Mysterium Cosmographicum // Opera Omnia. München, 1963. Bd 8. S. 17.* Перевод Ю. Х. Копелевич). Петербургские ученые глубоко почитали Кеплера и тщательно изучали его труды. Это стало традиционным с самого основания Петербургской Академии наук.

³ ...с этой стороны философия не может никак посягнуть на религию. — Предложенный Эйлером путь примирения науки и религии противоречит его собственным словам, сказанным в начале 89-го письма. Ведь что за утешение знать, что любой человек был включен в изначальный план мира, если, как утверждается в предыдущем письме, этот мир не соответствует намеченному Богом плану, в подтверждение чего дана ссылка на Св. Писание. Здесь Эйлер явно «раздвоился» между своими атеистическими воззрениями раннего петербургского периода и богоискательскими идеями, к которым он пришел в Берлине.

первую научную школу России — петербургскую астрономическую школу XVIII в. Через нее прошли также Л. Эйлер, М. В. Ломоносов, Н. И. Попов, А. Д. Красильников и многие другие (Подробнее см.: *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. Об экспериментах в камере-обскуре см. гл. 5: Астрофизика. С. 143—149). 20 июля 1748 г. Л. Эйлер уже в Берлине наблюдал кольцеобразное солнечное затмение, также с помощью камеры-обскуры. Неудивительно, что он захотел описать простейшие эксперименты в камере-обскуре и своим ученикам (описание камеры-обскуры см. в письмах 194, 195).

Камера-обскура была в XVIII в. также и весьма распространенным салонным развлечением.
⁶ ...синие лучи не способны порождать красный цвет... — Эйлер противоречит сам себе, утверждая (в письме 24), что «темный предмет... сохраняет всегда одни и те же цвета, как бы его ни осветить».

Письмо 29

¹ ...если посмотреть в микроскоп, то обнаружится, что мельчайшие частицы любых предметов — прозрачны. — Петербургские ученые уделяли большое внимание экспериментам по исследованию преломления в средах с различной прозрачностью, так как они были связаны с разработкой ахроматических объективов телескопов и микроскопов и входили в программу Делиля, изложенную в его статье «Польза экспериментов по дифракции света для астрономии». Работая в Петербурге по этой программе, Эйлер написал статью «О рефракции лучей света» (1738), которая при его жизни не была опубликована и сохранилась лишь в архиве Делиля. Теперь ее можно прочесть в русском переводе. (См.: Источники по истории астрономии России XVIII в. / Сост. и пер. Н. И. Невской. СПб., 2000. Т. 1. С. 375—385, 390—391).

² ...если смотреть через... законченное стекло на Солнце, оно будет видно вполне отчетливо. Именно этим способом пользуются астрономы... — Таким способом неоднократно пользовался и Л. Эйлер, работая в Петербурге, а затем и в Берлине.

Письмо 30

¹ Согласно теории истечения... — Здесь критикуется ньютоновская теория истечения с позиций петербургских ученых. Свою теорию Л. Эйлер наиболее полно изложил в работе «Новая теория света и цветов», опубликованной уже в Берлине: *Euler L. Nova theoria lucis et colorum // Opuscula varii argumenti.* Berlin, 1746. Bd 1. S. 169—244.

Письмо 31

¹ В. В. только что убедились в том, что, когда луч света переходит наклонно из одной прозрачной среды в другую... — Эйлер вновь вспоминает наблюдения в камере-обскуре Петербургской обсерватории, где исследования велись именно так, как он описывает здесь и дальше.

² По степени преломления они располагаются так: 1) красный цвет, 2) оранжевый, 3) желтый, 4) зеленый, 5) синий, 6) фиолетовый. — Эйлер называет лишь 6 цветов: во французском языке два цвета, синий и голубой, обозначаются одним словом — *bleu*. То же, собственно, характерно и для всех европейских языков. Так, например, в немецком оба цвета обозначаются словом *Blau*. В английском — словом *blue*, в итальянском — *blu*, или *azzurro*.

³ Возможно, другой народ, обладающий более богатым запасом слов, насчитывает больше различных цветов, чем мы... — Так, например, в русском языке есть для голубого цвета специальное слово, не похожее на слово, обозначающее синий цвет.

Письмо 94

¹ *...незамедлительно передается в другое окончание в головном мозге...* — Импульсы распространяются вдоль нервных волокон (аксонов) со скоростью от 0,5 до 100 м/с.

² *...в мозолистом теле, откуда берет начало все наше знание о внешнем мире.* — Традиционное для Петербургской Академии наук знание анатомии и блестящая интуиция позволили Эйлеру предугадать ряд открытий современной науки. Как выяснилось, превращение впечатлений полученных мозгом от органов чувств человека, в его знания об окружающем мире, происходит именно в мозолистом теле. О механизме этого процесса см.: Бианки В. Л. Механизм парного мозга. Л., 1989.

Письмо 95

¹ *...воспоминание.* — Психологический термин.

² *...свет Луны... почти в 200 000 раз слабее солнечного.* — Оценка завышена: полная Луна освещает земную поверхность по крайней мере в 500 000 раз слабее, нежели Солнце. Эйлер еще раз повторит эту оценку (письмо 202), а в письмах 211 и 232 назовет число 300 000. Вероятно, автор основывался на фотометрических измерениях П. Бугера (P. Bouguer, 1698—1758).

Письмо 96

¹ *...наша душа... заключает о реальном существовании вне нас объекта, вызвавшего это представление.* — Очень тонкое замечание, основанное на традиционном петербургском знании анатомии и гениальной интуиции ученого. Как показали современные нейрофизиологи, убежденность в реальности объекта, воспринимаемого органами чувств, вызывается сравнением полученной информации со своеобразной обобщенной «картиной мира», получаемой у большинства людей и животных правым полушарием мозга. Если полученная информация не противоречит этой «картине мира», возникает убежденность в реальности объекта. И такое свойство присуще как человеку, так и всем животным, как считали Эйлер и его петербургские коллеги. Подробнее см.: Невская А. А., Леушина Л. И. Асимметрия полушарий и опознание зрительных образов. Л., 1990.

² *...который многих философов завел в тупик.* — Эйлер касается здесь вопроса об отношении мышления к бытию, идеального к материальному, вопроса, известного как «основной вопрос философии». В соответствии с тем, как философы отвечают на этот вопрос, они разделяются на два противоположных лагеря — материалистов и идеалистов. Средствами формальной логики противоречия между этими течениями неразрешимы.

³ *Их можно также назвать спиритуалистами, ибо они утверждали, что в мире существуют только духовные субстанции.* — Эйлер имеет в виду объективных идеалистов. Основоположником этого направления был древнегреческий философ Платон, труды которого тщательно изучали петербургские ученые, не разделяя, однако, его идей.

⁴ *Их называют эгоистами, поскольку они полагают, что ничто не существует, кроме их собственной души.* — Эйлер имеет в виду английского философа Дж. Беркли (1684—1753) — наиболее яркого и последовательного представителя субъективного идеализма. За последователями этой концепции в дальнейшем утвердилось наименование солипсистов (от латинских слов *solus* — «единственный» и *ipse* — «сам»). Это направление резко критиковали петербургские астрономы. Эйлер излагает их критику.

Письмо 97

¹ *Мне хотелось бы... доказать реальную связь между нашими ощущениями и объектами... но... чем больше я об этом думаю, тем сильнее чувствую свою неспособность это сделать.* — Воскликание воспитанника петербургских ученых-естествоиспытателей, стихийных материалистов!

² ...и то же ощущение позволяет нам определить различные свойства этого объекта. — Эйлер опирается на опыт в решении важнейших вопросов, как и следовало ожидать от воспитанника петербургских естествоиспытателей. См. коммент. 2 к письму 94.

³ ...душа заключает о существовании реального объекта, находящегося вне нас. — В этих рассуждениях Эйлер выступает как сторонник близких нам идей. И если он оспаривает материалистов, считая их мнение «абсурдным», то это относится лишь к так называемому механистическому материализму, для которого существует только материя.

⁴ ...что он не верит в существование своего балы. — Балы — королевский чиновник во Франции. В его руках сосредоточивались административные, финансовые, военные и полицейские функции.

Письмо 98

¹ ...эта способность души называется воспоминанием... — Эйлер говорит о памяти. Однако позднее выяснилось, что человек не всегда может вспомнить любое событие. Как показал З. Фрейд, человек способен забывать неприятные ему события. Эти особенности памяти Фрейд назвал «вытеснением», а не нарушением памяти, которое играет защитную роль для личности данного человека. См.: Freud S. Traumdeutung / Gesammelte Werke. London, 1940. Bd 2, 3. См. также: Лоренцер А. Археология психоанализа: Истинность и социальное страдание. М., 1996.

² Пифагор (около 580—500 до н. э.) — древнегреческий философ-идеалист, математик. Ему приписывается знаменитая теорема: квадрат, построенный на гипотенузе прямоугольного треугольника, равновелик сумме квадратов, построенных на его катетах.

Письмо 100

¹ Наши органы чувств доставляют нам сведения только о тех объектах, которые реально существуют вне нас... — В 1750 г. П. Л. М. Мопертюи (1698—1759) издал «Философские рассуждения о происхождении языков и значении слов» (*Maupertuis P. L. M. Réflexions philosophiques sur l'origine des langues et la signification des mots // Oeuvres de Maupertuis. Dresden, 1752*). Идея этой работы состояла в том, что воздействие окружающего мира на человека убеждает в его реальности. Второе издание этой работы в 1798 г. вышло уже с длинным примечанием некоего г. Боадена, оспаривавшего истинность выводов Мопертюи. Эйлер в своих «Письмах» защищал точку зрения не только петербургских, но и французских материалистов, в том числе и Мопертюи.

² ...круглая форма не существует отдельно от Луны. — Упрощая изложение, Эйлер противоречит тому, что далее сам говорит об абстракции. Так, геометрия, оперируя идеальными понятиями, имеет дело именно с формой, отвлеченной от физических тел.

³ И эти понятия, поскольку они отличают людей от животных... — Эйлер развивает здесь типично петербургскую точку зрения о том, что между человеком и животными нет пропасти в познании ими окружающего мира. Человек способен подниматься на более высокую ступень в познании законов этого мира с помощью абстрагирования, доступного животным лишь в зачаточной степени. В XVIII в. такое представление было редкостью, сегодня оно подтверждено современной наукой.

Письмо 101

¹ ...двуногое без перьев, согласно определению великого Платона. — Платон (Аристотел) — древнегреческий философ-идеалист (427—347 до н. э.), основатель философской школы, один из родоначальников «объективного идеализма». Излагал свои мысли в форме диалогов. Приводимое Эйлером платоновское определение человека содержится в диалоге «Политика» и имеет шуточный характер.

Письмо 102

¹ Когда-то в русском языке не было слова, обозначающего то, что мы называем по-французски *justice* («справедливость»). — Весьма любопытный факт из истории Петербургской Академии наук, другими источниками не отмеченный. Хотя в русском языке XVIII в., действительно, не было слова «справедливость», однако понятие это издавна выражалось словами «совесть», «честность», «правда». См.: «Русская Правда» — свод древнерусского права эпохи Киевской Руси. Список «Русской Правды» вошел в состав так называемых Кормчих книг, Мерила праведного — юридических сборников и летописей. Древнейшая «Правда» — «Правда» Ярослава Мудрого (978—1054) XI—XIII вв.

² ...можно изобразить их [роды предложений] в виде фигур. — Далее Эйлер вводит в логику так называемые крути Эйлера, т. е. чертежи, значительно упрощающие понимание сложных положений формальной логики, делающие их наглядными. Без этих «кругов» не обходится теперь ни одна лекция по логике, ни одна работа. Можно полагать, что основные идеи этого усовершенствования возникли у Эйлера при чтении публичных лекций по логике и высшей математике в Петербургской Академии наук (1738). 8 января 1743 г. он сообщил о введенных им «кругах» немецкому математику и физику, антивольфианцу И. А. Сегнеру (1704—1777), который пришел в восторг от гениально простого метода и просил Эйлера поскорее его опубликовать. Первой публикацией и стали «Письма к немецкой принцессе». Ранее эти силлогизмы Эйлер записал в своих записных книжках (СПб. ФА РАН, ф. 136, оп. 1, д. 134, л. 15 об.). Оценка Сегнера была тем более ценной, что он читал лекции по логике и написал книгу, посвященную этим вопросам (см.: Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель. Л., 1967. С. 230—231).

Письмо 103

¹ тогда как с помощью символов все сразу бросается в глаза. — Еще Лейбниц (1646—1716) высказал идею о создании науки, которая обозначит все понятия символами и установит некоторую новую «алгебру» для соединения этих символов. Эту задачу частично решил Б. Больцано (1781—1848). Ирландский математик Дж. Буль (1815—1864) начал осуществлять идеи Лейбница в своих работах «Математический анализ логики» (1847) и «Законы мышления» (1854). Буль обозначал буквами высказывания или суждения и показал, что уравнениями можно решать вопросы об истинности и ложности высказываний. Так называемая «булева алгебра» — первая часть математической логики, которая в наши дни стала важнейшим компонентом математики.

Письмо 107

¹ ...галлы не были римлянами... кельты также ... были ли галлы кельтами или нет — Галлы — древние обитатели Франции; римляне — жители Древнего Рима; кельты — группа племен, обитавших на территории Западной Европы уже со II тысячелетия до н. э. Впоследствии успешно воевали с Римом.

Письмо 108

¹ ...«мир скоро будет заключен»... — См. коммент. 12 к письму 1. Мир между Пруссией и Россией был заключен в 1762 г.

² ...называют *антецедентом* ... а другую часть ... *консеквентом*. — Антецедент — «предшествующий» (от лат. *antecedere* — «предшествовать»; консеквент — «последующий» (от лат. *consequens* — «последующий»).

Письмо 110

¹ *...известных под именем манихейцев.* — Манихейство — религия, возникшая в III в. в Персии и быстро распространившаяся во многих странах — от Испании до Китая. Основателем ее считается полумифический проповедник Мани (216—276). Манихейство представляло собой синтез зороастризма и христианства. Из христианства была заимствована идея мессии: Мани считался посланником небесного мира света. Основой же был зороастрийский дуализм: признание двух начал бытия — противоборствующих царств добра (духа) и зла (материи). В первом господствует Бог, во втором — дьявол. Борьба двух царств должна завершиться катастрофой, в результате которой материя погибнет, а дух станет свободным. Человек, будучи двойственным существом (душа — порождение света, тело — тьмы), может помочь силе света в борьбе против силы тьмы. Христианство объявило манихейство ересью. В средневековой Европе оно продолжало существовать в виде ересей павликиан, богомилов, катаров. В VIII в. манихейство было официальной религией Уйгурского царства.

Петербургские астрономы работали над историей всемирной астрономии и всемирных религий, поэтому со всеми мировыми религиозными учениями, в том числе и с манихейством, Эйлер познакомился в первые годы своего пребывания в Петербурге.

² *...в Священном Писании...* — Эйлер имел в виду «десять заповедей» (Исход, XX; Второзаконие, V). Однако из этих заповедей не следует, что замышление убийства есть такой же грех, как само убийство; существует лишь заповедь «Не убий» (Исход, XX: 13). Только к заповеди «Не кради» (там же, XX: 15) есть параллель «Не пожелай чужого» (там же, XX: 17). Расширенное толкование заповеди об убийстве можно, правда, усмотреть в Новом завете (Матф., V: 21—22).

Письмо 111

¹ *...и даже Бог не может даровать счастье порочной душе.* — Типично петербургские идеи, разделявшиеся всеми учеными, представителями раннего русского Просвещения.

Письмо 112

¹ *Это блаженное единение... состоит в добродетели, основанной на любви к Богу и любви к ближнему.* — Речь идет о двух основных заповедях (См.: Евангелие от Матфея, гл. 22, ст. 37, 39).

Письмо 113

¹ *Возлюби Господа Бога твоего всем сердцем твоим и всею душою твоею, и всеми силами твоими, и всем разумением твоим.* — Цитата из Евангелия от Матфея, 22, 37.

² *...довольно обратиться к апостолам и к первым христианам.* — Петербургские ученые внимательно изучали жизнь и деятельность первых христиан, противопоставляя их деятельности своих современников. На эти темы много статей печаталось в «Примечаниях на „Ведомости“».

Письмо 114

¹ *Необходимо только читать внимательно и без предубеждения историю и размышлять по поводу всех событий.* — Именно в Петербургской Академии наук Эйлер и его друзья внимательно и без предубеждения читали историю, в том числе и историю наук и религий, и размышляли об этом. Результат их размышлений и приводится в настоящем письме.

² *...есть еще и поныне богословы, утверждающие, что наше обращение к вере свершается только по воле самого Бога...* — Это — мнение ортодоксов. См. коммент. 3 к письму 91.

³ *Некоторые богословы, быть может, обвинят меня в ереси и скажут, что человеку, на мой взгляд, достанет собственных сил, чтобы обратиться к вере.* — Здесь излагается точка зрения пелагиан и полупелагиан, признанная ересью. Все петербургские ученые разделяли «еретические» взгляды.

Письмо 115

¹ *Теперь я буду иметь честь познакомить В. В. с истинной основой всех наших знаний.* — Здесь и далее Эйлер излагает систему доказательств, разработанных представителями Петербургской астрономической школы XVIII в. С помощью этих доказательств можно было убедиться в истинности полученных знаний. Основы этой системы предложил Ж. Н. Делиль, а завершил ее Л. Эйлер.

² *Но не могли ли все эти авторы составить заговор с целью нас обмануть?* — Именно в такую ошибку впал и знаменитый русский революционер-народник и ученый Н. А. Морозов (1854—1946), когда счел всю античность выдумкой средневековых монахов (*Морозов Н. А. Христос: В 7 т. Л., 1924; М.; Л., 1932*). Забытую ошибку Морозова недавно повторил другой уважаемый ученый — математик, чл.-кор. АН СССР М. М. Постников. Вместе со своими менее маститыми соавторами он вновь пытался «закрыть» античность (см.: *Вассоевич А. Л.* По поводу статьи М. М. Постникова и по поводу «культурно-исторических» публикаций его последователей // Вопросы истории естествознания и техники. 1964. № 2. С. 114—125). Таким образом, предостережения Эйлера и сегодня не утратили значения.

³ *Но для меня это — истина первого рода, ибо я их видел и с ними говорил...* — Эйлер находился в Берлине в период его взятия русскими войсками. Дом его был разграблен, так как посланная к нему охрана опоздала. Россия выплатила Эйлеру компенсацию (см. его письма к президенту Петербургской Академии наук К. Г. Разумовскому от 18 X 1760 и 28 V 1763; Леонард Эйлер: Переписка: Аннотированный указатель. Л., 1967. № 1880, 1881. С. 227—228).

Письмо 116

¹ *...равны между собой...* — Подразумевается, по площади.

² *...они считают возможным прибегнуть к математическим доказательствам для проверки религиозных истин...* — Эйлер имеет в виду французских материалистов XVIII в., которые нередко отвергали религиозные предания, не утруждая себя особым анализом сообщений, что для представителей Петербургской астрономической школы XVIII в., много внимания уделявших истории науки и религий, было совершенно неприемлемо.

³ *...они не признают ничего, кроме того, что воздействует на их органы чувств.* — Эйлер явно имеет в виду своих петербургских коллег-естествоиспытателей.

⁴ *Они, например, признают достоверность положений Евклида...* — Труды Евклида внимательно изучали петербургские ученые, особенно те, кто стажировался в Петербургской обсерватории, так как Делиль включил их в список рекомендованной для астрономов литературы.

⁵ *Приди древним геометрам в голову отстаивать противоположные выводы, эти люди и их приняли бы за верные.* — Историк, соглашавшийся с положениями Евклида лишь потому, что они были засвидетельствованы историческими документами, а не потому, что их можно было доказать с помощью математических методов, Теофил Зигфрид Байер (1694—1738). Он занимал в Петербургской Академии наук должность профессора истории и древностей. Т. З. Байер владел техникой астрономических наблюдений и вел самые ответственные наблюдения в Петербургской обсерватории. Тем не менее по профессии он был историком и «верил» лишь историческим доказательствам. Можно полагать, что описанный Эйлером курьезный случай был связан с одним из первых докладов Байера в Академической конференции 19 января 1728 г. ст. ст. Доклад был посвящен вопросу о точной дате солнечного затмения, предсказанного Фалесом (VII—начало

VI в. до н. э.). При обсуждении проблемы Байер пользовался исключительно историческими свидетельствами и категорически отказывался принимать во внимание данные астрономического предвычисления (см.: Протоколы заседаний конференции Имп. Академии наук. СПб., 1897. Т. 1. С. 12—13).

Письмо 117

¹ *...истины, познаваемые нами посредством чувств, столь же непреложны... Без этого убеждения никакое человеческое общество не могло бы существовать, и все мы впадали бы в величайшие заблуждения и противоречия.* — Весьма верное и здравое суждение!

Письмо 119

¹ *Так, например, для В. В. морально достоверным является пребывание русских в Берлине.* — См. коммент. 3 к письму 115.

² *Это — наилучший способ довести науки до высшей степени совершенства.* — Здесь звучит высокая оценка, даваемая Эйлером системе подготовки кадров, принятой в Петербургской астрономической школе XVIII в.

Письмо 120

¹ *...простой народ обладает большим здравым смыслом...* — Высокая оценка здравомыслия простого народа со стороны Эйлера — вполне в духе демократизма петербургских ученых XVIII в., которые всегда гордились тем, что являются, как говорил француз Ж. Н. Делиль, выходцами из «третьего сословия».

Письмо 122

¹ *...[небесные тела] не падают вниз, хотя это должно было бы произойти, будь у них вес, как у земных тел.* — Здесь Эйлер вступает в противоречие с Ньютоном, да и с тем, что он сам писал выше (см., например, письма 51—53).

² *Есть, однако, философы (и даже большинство наших современников)...* — Эйлер имеет в виду Х. Вольфа и его сторонников, с которыми петербургские ученые вели борьбу еще с 30-х гг. XVIII в.

³ *...достоинство каждой науки даже тем более велико, чем на более общие, т. е. на более абстрактные понятия она распространяется.* — В этом письме оценка роли науки в обществе точно соответствует мнению петербургских ученых-естествоиспытателей XVIII в.

Письмо 123

¹ *...всякая протяженность делима до бесконечности...* — В этом и следующем письмах Эйлер постоянно пользуется понятиями актуальной и потенциальной бесконечности. Актуальная бесконечность — принятое в математике и математической логике понятие о бесконечной совокупности каких-либо объектов (например число отрезков, из которых состоит линия), которое представлено в виде готового, т. е. актуально существующего множества. Оно бесконечно в том смысле, что нет конца пересчету его элементов, но оно актуально, так как все отрезки, входящие в него (здесь — в линию), мыслятся данными одновременно. В классической математике к совокупности объектов актуальной бесконечности применимы все законы и методы

классической логики. Потенциальная или возможная бесконечность — принятое в математике и математической логике понятие о бесконечном множестве осуществимых возможностей (здесь — делении отрезка на две части), причем каждая из этих возможностей в отдельности, как и любое конечное их число, — осуществимы, тогда как завершение процесса деления на бесконечное число отрезков неосуществимо не только в силу недостатка практических средств, но и принципиально не может быть осуществлено. Тем не менее в математике и конструктивной логике широко используются понятия актуальной и потенциальной бесконечности, которые иногда подменяют друг друга. Идеи потенциальной и актуальной бесконечности являются абстракцией реальных процессов. Эти понятия широко используются в дифференциальном и интегральном исчислении, входящем в так называемый анализ бесконечно-малых. Л. Эйлер завершил развитие этого раздела математики. Как известно, именно его изложение анализа бесконечно-малых, написанное еще в годы работы в Петербургской Академии наук (где он преподавал этот курс), а опубликованное в 1748—1750 гг., стало затем классическим и практически не изменилось до сих пор. Этими проблемами Эйлер начал заниматься с первых лет работы в Петербурге и продолжал их всю жизнь.

Письмо 124

¹ *Итак, считаем установленной истину: протяженность делима до бесконечности, и невозможно представить себе части настолько малые, что их уже невозможно дальше делить.* — См. коммент. 1 к письму 123.

² *...философов-эпикурейцев.* — Эпикурейцы — последователи Эпикура (341—270 до н. э.), древнегреческого философа-материалиста. Эпикур делил философию на физику (учение о природе), канонику (учение о познании, в котором Эпикур придерживался сенсуализма) и этику. В физике Эпикур следовал атомистике Демокрита (V в. до н. э.). Признавал бытие блаженно-безразличных богов в пространствах между бесчисленными мирами, но отрицал их вмешательство в жизнь космоса и людей. Девиз Эпикура: живи уединенно. Цель жизни — отсутствие страданий, здоровье тела и состояние безмятежности духа (атараксия); познание природы освобождает от страха смерти, суеверий и религии вообще.

Письмо 125

¹ *Королевская Академия в Берлине... на 1748 год... предложила вопрос о монадах.* — Инициатором проведения конкурса о монадах в Берлинской Академии наук был сам Эйлер. Он же настоял на том, чтобы премирована была «антимонадная» работа. Тем самым он успешно завершил свою «антимонадную» деятельность, начатую еще в Петербурге.

² *Дона, Альбрехт Кристоф граф* (Dohna Albrecht Kristoph, 1702—1752) — прусский государственный деятель, был почетным членом Берлинской Академии с 1744 г.

³ *Юсти Иоганн Генрих Готтлоб* (Justi Johann Heinrich Gottlob, 1720—1771) — немецкий минералог, писатель, юрист, философ из Зангерхаузена. Как известно, Юсти победил на «антимонадном» конкурсе, объявленном по настоянию Л. Эйлера Берлинской Академией наук. Премированная работа называлась «Ничтожество и неосновательность монад» (*Justi J. H. G. Nichtigkeit und Ungrund der Monaden*, Halle. 1748).

Письмо 126

¹ *Я не стану вспоминать известный пример с дукастом...* — Известный пример Г. В. Лейбница.

² *...сосуды, нервы и тончайшая жидкость, которая через них протекает.* — Здесь Эйлер вновь обращается к опыту исследований петербургского анатома И. Г. Дювернуа.

Письмо 128

¹ *...важнейшей опорой их теории служит закон достаточного основания.* — Принцип достаточного основания — один из четырех элементарных законов логики, требующий, чтобы истинность наших суждений была обоснована.

Интуитивно этот закон осознавался всеми мыслителями древности, здесь Эйлер вполне прав, но в формальную логику этот закон ввел Г. В. Лейбниц.

² *Это не что иное, как обман, который называют в логике *petitio principii*.* — Лат. «предвосхищение основания» — распространенная логическая ошибка, заключающаяся в том, что в качестве основания принимается утверждение, хотя и не являющееся заведомо ложным, но могущее оказаться таковым и само нуждающееся в доказательстве.

От подобных ошибок не были застрахованы и великие ученые. Так, в частности, такую ошибку допустил и И. Ньютон в «Началах», определив количество материи по весу. М. В. Ломоносов в неотправленном письме к Л. Эйлеру от 5 июля 1748 г. (см.: *Ломоносов М. В. Полн. собр. соч.* М.: Л., 1967. Т. 10. С. 450—459), вероятно, продолжая обычный в Петербургской Академии наук спор, разбирал допущенное Ньютоном предвосхищение основания. Он показал (с. 451—452), что доказательство Ньютона в отношении однородных тел убедительно, но когда он определял количество вещества в разнородных телах, то допускал предвосхищение основания. Ломоносов писал: «...Я считаю невозможным приложить теорему о пропорциональности массы и веса к объяснению тех явлений, которые зависят от мельчайших тел природы, если мы не хотим все время ошибаться...» (с. 452), и признавался далее, что и сам не раз ошибался таким же образом.

Письмо 132

¹ *...упрекать своих противников в атеизме или в идолопоклонстве — подлый способ вести диспут.* — Здесь Эйлер вновь обращается к своему петербургскому опыту. Отстаивая право ученых заниматься научными исследованиями, Эйлер и его петербургские друзья нередко слышали подобные же обвинения.

Письмо 133

¹ *...будь этот предмет освещен сильнее или слабее...* — Чешский биолог Я. Пуркинье (1787—1869) открыл явление смещения максимума относительной видимости при переходе от дневного зрения к сумеречному. При низких освещенностях не только понижается чувствительность глаза к восприятию цветов вообще, но в этих условиях понижена чувствительность к длинноволновой части видимого спектра (красный, оранжевый). Зато в сумерках повышена чувствительность к цветам коротковолновой части спектра (синий, фиолетовый). Например, в сумерках мак покажется совсем «черным», а василек — более светлым.

² *...другая теория...автором которой считают меня..* — Эйлер говорит о волновой теории света, изложенной им в работе «Новая теория света и цветов», основанной на петербургских опытах и размышлениях, а опубликованной уже в Берлине в 1746 г. Основоположителем волновой теории света, на которую ссылается Эйлер, был Х. Гюйгенс (*Huygens Cristian*, 1629—1695), работы которого хорошо знали и изучали все петербургские ученые. Сочинения Гюйгенса входили в список книг, рекомендованных стажерам Петербургской обсерватории.

Письмо 134

¹ ...восприняли мое мнение с большим удовлетворением. — Волновую теорию света по традиции принимали все работавшие в Петербургской Академии наук XVIII в. ученые.

² и самое вещество Солнца (...) скоро было бы исчерпано. — См. коммент. 7 к письму 17.

³ Распространение света происходит подобно тому, как звук порождается звучащими телами. — Вновь обращение к петербургской идее об аналогии света и звука.

⁴ ...колебаний, совершающихся за секунду. — В настоящее время для ноты «ля» первой октавы принята стандартная частота 440 гц.

⁵ ...мы знаем, сколь прекрасное подобие существует между звуком клавесина и цветом. — Вновь обращение Эйлера к петербургской идее об аналогии света и звука. Мысли о прекрасном подобии звучащего клавесина с различными цветовыми сочетаниями — вполне естественны для Эйлера. Он очень любил музыку, сам имел лучший клавесин в Петербурге. Подобные идеи вдохновили и цветомузыку А. Н. Скрябина (1872—1915).

Письмо 135

¹ ...быть может, станут известны. — Видимый свет — электромагнитные волны в интервале частот $7.5 \cdot 10^{14}$ — $4.3 \cdot 10^{14}$ гц (сотни триллионов колебаний в секунду), что соответствует длинам волн 380—760 нм.

Письмо 137

¹ ...все звуки должны быть более или менее одной силы... — Способ извлечения звука в клавесине — щипок — ограничивал динамические возможности инструмента и выразительные средства игры. В XVIII в. уже существовал струнный ударно-клавишный инструмент — фортепиано, сконструированное в 1709—1711 гг. итальянцем Б. Кристофори (1655—1731). К концу столетия фортепиано почти полностью вытеснило клавесин и клавикорд.

² ...философы еще не сумели ее исследовать. — Признак, присутствующий во всех тонах музыкального инструмента (или голоса) и придающий звучанию характерную окраску, называется формантой. Форманты почти неизменны по частоте. Например, установлено, что у скрипки существуют форманты в областях частот 240—270, 500—550 и 3200—4200 гц; у флейты — 1400—1760 гц; у гобоя — 1600—2000 гц; у фагота — 450—500 гц. Особенно важное значение имеют форманты для человеческой речи: ее звуки (в первую очередь гласные) распознаются по формантам.

³ ...построить машину, которая была бы способна воспроизводить с полной артикуляцией все звуки нашей речи. — Реальные успехи в синтезировании человеческой речи были достигнуты лишь к 70-м гг. XX в., с бурным развитием компьютерной техники.

Письмо 139

¹ ...источник всех электрических явлений следует искать в некоей текучей тончайшей субстанции... — См. коммент. 1 к письму 78. С помощью «петербургского» понимания эфира Эйлер объясняет и электрические явления. В 1755 г. Петербургская Академия наук объявила конкурс, предложив его участникам «...сыскать подлинную электрической силы причину и составить точную оной теорию» (Рукописные материалы Л. Эйлера в Архиве АН СССР. М.; Л., 1962. Т. 1. С. 404). Премирована была работа И. А. Эйлера, старшего сына великого математика, написанная при активном участии его отца. В «Письмах» Л. Эйлер излагает основные положения этой конкурсной

работы. Она называлась: «Исследование о физической причине электричества» (*Disquisitio de causa physica electricitatis*. Petropoli, 1755). Несмотря на остроумие предложенной Эйлером теории и единого принципа для объяснения разных явлений, она не была признана вполне удовлетворительно объясняющей все явления. Об этом писал М. В. Ломоносов в статье «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих» (см.: *Ломоносов М. В.* Полн. собр. соч. М.; Л., 1951. Т. 3. С. 15—90).

Письмо 147

¹ ...этим порождается электричество, прямо противоположное, которое называют отрицательным... — По современному определению, положительными называются электрические заряды, возникающие на стекле, потертом о шелк, отрицательными — на эбоните, потертом о мех.

² ...свет, который исходит из шеста, появляется в форме султана тп... — В современной физике это явление называется «кистевой разряд». От французского слова *aigrette* — «кисточка», «султан», «хохолок».

Письмо 149

¹ ...знаменитого Лейденского опыта, потому что автор его — лейденский профессор г-н Мушенброк... — Мушенброк Петрус ван (1692—1761) — голландский физик, работы которого внимательно изучали петербургские ученые, их постоянный корреспондент, один из первых ньютонианцев на континенте Европы.

Письмо 150

¹ Существует даже цейлонский камень, называемый турмалином (*Aschentrecker*). — Цейлонский камень, или турмалин (от сингальского *турмалли* — сердолик), был привезен из Шри-Ланки в Голландию в 1703 г. Там свойства двойного лучепреломления кристаллов турмалина изучил и впервые описал Х. Гюйгенс в своем знаменитом «Трактате о свете». Его тщательно изучали и петербургские ученые, пытавшиеся найти объяснение этого физического явления.

Письмо 151

¹ ...всегда сопутствуют самые несомненные признаки электричества. — Это положение было экспериментально подтверждено Б. Франклином (1706—1790), создателем так называемой унитарной теории электричества. В 1752 г. «Санкт-Петербургские ведомости» сообщали, что «в Филадельфии, в Северной Америке, господин Вениамин Франклин (...) делал опыты для изведения, не одинакова ли материя молнии и электрической силы, и действие догадку его так подтвердило, что от громовых ударов (...) охранить себя можно (...). Как чинили сей опыт в марлийском саду железным прутом (...) во время грому (...) то бывшие при том персоны вытянули такие искры и движения, которые подобны тем, кои производятся обыкновенною электрическою силою».

² ...покойный г-н доктор Либеркюн и г-н доктор Лудольф хотели провести подобные же опыты... — Либеркюн Иоганн Натаниэль (*Liberkün Johann Nataniel*, 1711—1756) — немецкий врач, астроном и механик, член Берлинской Академии наук. Лудольф Христиан Фридрих (*Ludolf Christian Friedrich*, 1707—1763) — немецкий физик, член Берлинской Академии наук. С ними обоими Л. Эйлер вел переговоры об их приглашении в Петербургскую Академию наук (см. письма

Эйлера к И. Д. Шумахеру от 25 IV 1744, 30 VI 1753 в : Леонард Эйлер : Переписка : Аннотированный указатель. Л., 1967. С. 270, 289).

¹ *Но когда они узнали о несчастии с г-ном Рихманом...* — Рихман Георг Вильгельм (1711—1753) — профессор физики Петербургской Академии наук, постоянный добровольный сотрудник Петербургской обсерватории, близкий друг М. В. Ломоносова, вместе с которым он проводил метеорологические наблюдения в обсерватории, а также изучал атмосферное электричество. Трагически погиб во время грозы при экспериментах с атмосферным электричеством от удара молнии.

Письмо 152

¹ *...в Перу, самой жаркой стране на Земле...* — Перу располагается между южным тропиком и экватором у побережья Тихого океана. Благодаря этому климат в Перу достаточно мягкий: средняя температура воздуха в июле на уровне моря — 20—25 °С. В континентальных пустынях Африки, Азии и Австралии средние летние температуры — около 40 °С.

Письмо 153

¹ *...звук пробегает в каждую секунду всего лишь около тысячи футов...* — См. коммент. 1 к письму 3.

² *...молния вылетает из тучи.* — С помощью сверхскоростной фото- и киносъемки установлено, что в направлении от грозового облака к земле движется лишь первый, не видимый простым глазом импульс — так называемый лидер молнии. Основной же разряд бьет как раз в противоположном направлении — вверх.

³ *...и не сопровождается грохотом грома...* — Упоминание о «тихих» молниях встречается еще в поэме «О природе вещей» Тита Лукреция Кара (I в. до н. э.). В работах французского ученого Д. Араго (1786—1853), почетного члена Петербургской Академии наук, также упоминаются «бесшумные» грозовые разряды.

Письмо 154

¹ *...некогда я был в переписке со священником из Моравии по имени Прокопиус Дивиш.* — Дивиш Прокопиус (1696—1765) — пастор из Прендиже (Моравия). Изобрел громоотвод во время исследований по электричеству. Переписывался с Л. Эйлером. Рукопись Дивиша «Теоретическое отведение электрического огня» (1755) (хранится в Архиве АН СССР в Санкт-Петербурге) была прислана в Петербургскую Академию наук по настоянию Эйлера (см. его письмо к Г. Ф. Миллеру от 26 IV 1755 в : Леонард Эйлер : Переписка : Аннотированный указатель. Л., 1967. С. 193, № 1566).

² *Плачевный случай, происшедший с г-ном Рихманом в Петербурге...* — См. коммент. 3 к письму 151.

³ *...свечение на верхушках колоколен...* — Коронный разряд на остриях высоко поднятых предметов, возникающий перед грозой или во время нее, с древних времен называют «огнями святого Эльма» (по названию церкви, на башнях которой эти огни часто наблюдались еще в средние века). В «Римской истории» Тита Ливия (59 до н. э.—17 н. э.) можно прочесть, что когда флот Лизандра выходил из порта, для того чтобы напасть на афинян, на мачтах адмиральной галеры загорелись огни. Древние считали их появление хорошим предзнаменованием. Позднее среди моряков родилось поверье, что огни св. Эльма непременно горят на мачтах «Летучего голландца».

Том третий

Письмо 155

¹...*англичане обещали большие премии* — Первые мореплаватели старались держаться близ берегов, чтобы не потерять ориентиров. Когда же на смену каботажному плаванию пришло плавание в открытом море, возникла необходимость точно определять координаты. Широту места легко было измерить по высоте Полярной звезды над горизонтом. Так ориентировались на море первые арабские мореходы. Древние греки умели легко находить географическую широту при помощи несложных наблюдений высоты Солнца, Луны или звезд над горизонтом. Эти методы были описаны в «Алмагесте» К. Птолемея. Что же касается географических долгот, то задача их определения вплоть до XVI в. представляла непреодолимые трудности. Для этого использовались наблюдения лунных затмений. Как известно, разность долгот между двумя точками на земной поверхности равна разности между местным временем в этих точках в один и тот же момент. Во время лунных затмений диск Луны частично перестает светиться и каждая фаза явления наблюдается на Земле всюду совершенно одинаково, лишь бы Луна была над горизонтом. Метод лунных затмений широко использовался в конце XV—начале XVI в. Америго Веспуччи, Васко да Гамой, Магелланом, Христофором Колумбом и другими мореплавателями. Однако лунные затмения бывают довольно редко — два или три раза в год. Но главным недостатком этого метода была его очень малая точность. Края земной тени на Луне очень размыты, и моменты контактов не удавалось определить, что приводило к большим ошибкам. Так, например, Магеллан во время кругосветного путешествия, подплывая с запада к берегам Африки, ошибся в долготы на величину, соответствующую 2000 км. Попытки уменьшить ошибки в определении долгот на суше и на море в XVII и XVIII вв. приобрели особую остроту. В это время уже образовались национальные государства, такие как Испания, Франция, Нидерланды и Англия, которые владели не только большими территориями в Европе, но и обширными заморскими колониями. Эти государства одно за другим назначали огромные премии за изобретение практически удобного метода определения долгот. Одним из первых в 1567 г. предложил вознаграждение за метод определения долгот испанский король Филипп II. Вслед за ним Филипп III в 1598 г. обещал 6000 дукатов * в качестве единовременной выплаты или разных выплат любому, кто сможет «открыть долготу» хоть в какой-нибудь степени. В 1603 г. премию за определение долготы предложил французский король Генрих IV; позднее — Генеральные штаты Голландии (10 000 флоринов, затем 30 000 флоринов). После того как в 1708 г. у самых берегов Англии на шхерах архипелага островов Силли из-за ошибки в долготы разбился английский военный флот, причем погибло более 2000 моряков во главе с командующим, адмиралом Шовеллом, английский парламент в 1714 г. назначил премию в 10 000 фунтов стерлингов, вскоре удвоенную (20 000 ф. ст. в начале XVIII в. эквивалентны почти полумиллиону современных фунтов стерлингов (см. письмо 148)). И наконец, в марте 1716 г. премию в 100 000 ливров предложил регент Франции при малолетнем короле Людовике XV герцог Филипп Орлеанский.

²...*слегка сплюснутый сфероид...* — Фигура Земли очень близка к эллипсоиду вращения со сжатием 1/298. Под фигурой Земли принято понимать поверхность океанов, отвлекаясь от волн, приливов, влияний изменений атмосферного давления и продолжая эту поверхность под материками с помощью нивелировок. Эта поверхность является уровенной, она всюду перпендикулярна направлению силы тяжести, т. е. отвесной линии, и называется геоидом (от греч. *Гейя* — «Земля»). Она отличается от эллипсоида вращения не более чем на несколько сотен метров, и если учесть, что земной экватор обнаруживает небольшое отступление от правильной окружности и ближе

* Дукат — серебряная, затем золотая (3,4 г) монета, появилась в Венеции (XII в.). Затем во многих странах Европы чеканились — «цехин», «флорин», в России «червонец» (выпускался с 1701 по 1832 г.).

подходит к эллипсу с разностью полюсей около 200 м, то отличие геоида от такого трехосного эллипсоида не превышает 100 м.

³ *Полоса неба.* — Точки пересечения небесной сферы с так называемой осью мира, вокруг которой происходит ее видимое суточное вращение, ныне принято называть «полюсами мира».

⁴ *...корабль смог добраться до того или другого из полюсов.* — Северный полюс был впервые открыт в 1909 г. Робертом Пири (1856–1920); Южный — в 1911 г. — Руалом Амундсеном (1872–1928).

⁵ *...тамошняя жара почти непереносима.* — В приэкваториальной полосе большая часть земной поверхности занята океаном, что обуславливает достаточно мягкий климат: средняя температура в этой зоне составляет около 25 °С.

⁶ *...множество островов, которые относят к Азии.* — В XVIII в. Австралия («Новая Голландия») не имела ранга континента; название «Австралия» появилось на географических картах на рубеже XIX в.

Письмо 156

¹ *...полуокружность, проведенная из поверхности Земли от одного полюса до другого...* — По более строгому определению, меридиан — линия сечения поверхности земного шара плоскостью, проведенной через какую-либо точку земной поверхности и ось вращения Земли.

Письмо 157

¹ *Но широта Батавии...* — Батавия (ныне Джакарта) — город на острове Ява, был центром островной голландской колонии. Батавией был назван в честь германского племени батавов, обитавшего некогда в дельте Рейна, на территории нынешних Нидерландов. Данные, приведенные Эйлером, не точны: Батавия (Джакарта) расположена на широте 6°6'Ю, а мыс Доброй Надежды — 34°21'Ю.

² *Ост-Индия* — общее историческое название Индостана, Индокитая и Индонезии.

³ *...место, называемое Ило...* — Населенный пункт в Перу. Широта его приблизительно соответствует указанной Эйлером.

⁴ *...Вартои в Шведской Лапландии...* — Лапландия — название северной части Скандинавского полуострова и западной части Кольского. Вероятно, имеется в виду Вардё (Vard) на севере современной Норвегии, при устье Варангер-фьорда (Varanger-fjord).

Письмо 158

¹ *...широта того и другого — 50°31'...* Брауншвейг и Амстердам почти попадают на эту же параллель... — Указанные города в действительности находятся южнее Берлина (52°31'С): широта Ганновера — 52°24'С, Брауншвейга — 52°18'С, Амстердама — 50°29'С.

² *Этот установленный меридиан... называют первым меридианом.* — Первый меридиан ныне называют нулевым, он проходит через Гринвичскую обсерваторию (Великобритания).

³ *Остров Йерро* — самый западный из островов Канарского архипелага.

⁴ *...называемый Тенерифе.* — Меридиан, проходящий через западную оконечность о-ва Йерро (Ферро), был избран французами в качестве нулевого (начального) еще в 1634 г., когда кардинал Ришелье созвал для этой цели на конференцию известных европейских математиков и астрономов. В 1724 г. Королевская академия (Франции) направила Л. Фёйе (Feuillée) провести измерения для определения долготы Парижа, основываясь на нулевом меридиане, проходящем через о-в Тенерифе. Результаты экспедиции Фёйе были опубликованы в 1742 г. Однако общего соглашения относительно нулевого меридиана в то время еще не было, и каждое государство обычно проводило опорный меридиан через свою столицу или главную обсерваторию. Первый международный географический конгресс собрался лишь в 1871 г. в Антверпене, он рекомендовал принять Гринвичский меридиан в качестве нулевого для морских карт.

Письмо 159

¹ ...высокая гора... называемая пиком Тенерифе... — Имеется в виду пик Тейде — действующий вулкан (3718 м) на острове Тенерифе; виден отовсюду издали.

² ...отстоит от него ровно на 20°... — По данным экспедиции Фёйе (см. коммент. 4 к письму 158), долгота Парижа (собор Нотр-Дам) — 20°02.5'В, считая от западной оконечности о-ва Йерро (Ферро).

³ ...восточнее парижского на 11°07'15"... — Разница в долготе между Парижем и Берлином составляет около 11°03'.

⁴ Меридиан Лондона в Сент-Джеймсе... — Там находились королевский дворец и обсерватория.

⁵ ...его меридиан удален от парижского к западу на 79°09'30"... — По Гринвичу, долгота Парижа — 2°20'В, Лимы — 77°16'З, т. е. меридиан Лимы западнее парижского на 79°36'.

Письмо 160

¹ ...до сих пор представляется превосходящим возможность человеческого разума... — До изобретения морского хронометра долгота корабля в открытом море определялась с помощью метода лунных расстояний. Для таких вычислений необходимы высокоточные таблицы движения Луны. Л. Эйлер заинтересовался теорией движения Луны с первых лет своей работы в Петербургской Академии наук (1725—1730). В 1745 г. уже в Берлине Эйлер опубликовал «Новые и исправленные таблицы для вычисления мест Луны» (Е 76).^{*} В следующем году были напечатаны его «Астрономические таблицы Солнца и Луны» (Е 87). В 1749 г. вышли две работы, непосредственно связанные с определением долгот на море: «Метод нахождения истинного геоцентрического места Луны как в новолуния, так и в полнолуния» (Е 113) и «Метод определения долготы мест по наблюдению покрытий неподвижных звезд Луной» (Е 115). В 1750 г. были опубликованы несколько статей, в которых Эйлер проверял точность своих таблиц и теорий: «О движении узлов [орбиты] Луны и вариаций их наклона к эклиптике» (Е 138); «Аккуратнейшим образом рассматривается, насколько движение Земли возмущается Луной» (Е 139); «О согласии двух последних затмений Солнца и Луны с моими таблицами для нахождения истинных моментов полнолуний и новолуний» (Е 141). И только в 1753 г. была опубликована «Теория движения Луны...» (Е 187), получившая в дальнейшем название «Первая теория Луны». Эта работа Эйлера печаталась в Берлине, но на деньги Петербургской Академии наук. Вернувшись в Петербург, Эйлер одновременно передал в типографию несколько работ. Здесь в 1772 г. были опубликованы: «Письма к немецкой принцессе...» (Е 417) (на русском и французском языках), «Теория движения Луны, новым методом обработанная, вместе с астрономическими таблицами» (Е 418), получившая название «Вторая теория Луны...».

В то же время в Гёттингенском университете проблемой определения долгот занимался профессор математики Гёттингенского университета Иоганн Тобиас Майер (Mayer Johann Tobias, 1723—1762). Он составил на основании исследований Л. Эйлера «Новые таблицы движения Солнца и Луны», которые были опубликованы в трудах Гёттингенского научного общества, созданного на базе Гёттингенского университета в 1752 г. (Novae tabulae motuum Solis et Lunae // Commentarii Societatis Regiae scientiarum Göttingensis. Т. II [1752 г.]. S. 383—440).

В 1765 г. английский парламент присудил премию теории Л. Эйлера и таблицам И. Т. Майера (премия Майера была выдана его вдове). Однако задача еще не могла быть окончательно решена. В 1729 г. английский часовой мастер Джон Гаррисон (Harrison John, 1693—1776) изобрел хронометр — «хранитель времени». Этот прибор обеспечивал ход часов, независимо от качки корабля, что позволило определять точное время в любую погоду. Однако испытания нового прибора заняли много времени. Лишь пятый вариант хронометра оказался удачным. В конце концов в

^{*} Так обозначаются работы Л. Эйлера по номерам в списке работ ученого, составленном историком математики Густавом Энестрёмом (Eneström Gustaf, 1852—1923).

1773 г. Гаррисон получил заслуженную награду в 15 000 ф. ст. Однако вопрос не был решен окончательно. Эйлер составил и мореходные таблицы для русского флота, которые считались лучшими еще и в XIX в. Л. Эйлер, Ж. Н. Делиль, Д. Бернулли, М. В. Ломоносов, А. Д. Кrasilников, Н. Г. Курганов и другие петербургские ученые старались помочь созданию и процветанию морского флота России, следуя призыву Петра Великого.

² ...линия LT параллельна CP ... — Доказательство равенства углов m и y можно провести проще: $\angle CLT = \angle ACD = 90^\circ$ по построению; при параллельных $CP \parallel LQ$ и секущей CZ внутренние накрестлежащие углы $LCA = m + 90^\circ$ и $CLQ = y + 90^\circ$. Следовательно, $y = m$.

Письмо 162

¹ *Атлантическое море* — так называли водное пространство между Гибралтарским проливом и Канарскими островами.

² ...непрерывно втекает в Средиземное море через Гибралтарский пролив... — Средиземное море — «закрытое»; упомянутое автором течение вызвано тем, что в Средиземном море расход воды через испарение превышает ее приход (с дождями и речным стоком). Соленость средиземноморской воды несколько выше океанической. Это явление — наглядный пример так называемого термогалинного (греч. *гале* — «соль») течения. Через Гибралтар в Средиземное море втекает мощный поток океанической воды с соленостью около 36 ‰. Чем восточнее, тем соленость поверхностных вод Средиземного моря становится выше и у побережья Турции достигает уже 39—40 ‰. Осолоненная — более тяжелая — вода опускается на дно, согревая придонные воды. Хотя глубина Средиземного моря незначительно отличается от среднеокеанской, температура около дна в нем 12 °C, на 9—10° выше обычной температуры океанических глубин. В придонных слоях течение направлено в противоположную сторону, на запад. И наконец, тяжелая соленая вода по дну пролива изливается в океан. Суммарный поток через Гибралтар направлен в сторону Средиземного моря: все реки, впадающие в него, не в силах компенсировать убыль воды от испарения.

³ ...течение с востока на запад... — Под влиянием пассатов в тропиках, в среднем на широтах 15°Ю и С, образуются пассатные течения, направленные на запад. Между северным и южным пассатными течениями во всех океанах проходит экваториальное противотечение — на восток. Ось его лежит в среднем градусов на 5 севернее экватора.

Письмо 163

¹ *Предположим, что такие часы сумели сделать...* — См. коммент. 1 к письму 160.

² ...Солнце ежедневно совершает оборот вокруг Земли... — Подразумевается видимое движение Солнца по небосводу.

³ ...совершает полный оборот вокруг Земли... в двадцать четыре часа... — Продолжительность истинных солнечных суток на протяжении года неодинакова. Наибольшую длину они имеют 23 декабря, наименьшую — 16 сентября, причем разница в их продолжительности в указанные дни составляет 51с. Это обусловлено двумя причинами: неравномерным движением Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите и наклоном земной оси к плоскости эклиптики.

⁴ ...к востоку от меридиана Парижа... — См. коммент. 2 к письму 159.

⁵ *Разница между меридианами Берлина и Магдебурга составляет 1°14'...* — Ошибка. Должно быть около 1°40'.

⁶ ...Берлин — восточнее Магдебурга. — Долгота Берлина по Гринвичу — 13°23'В, Магдебурга — 11°36'В. Следовательно, Берлин восточнее Магдебурга на 1°47', что дает разницу в местном времени около 7.2 мин.

Письмо 164

¹ *Среднее время.* — Среднее солнечное время — система измерения времени, в основе которой лежит суточное движение воображаемого среднего Солнца. Вследствие эксцентриситета земной орбиты и наклона эклиптики, по которой происходит видимое годичное движение Солнца, промежутки между последовательными верхними кульминациями Солнца (т. е. истинные солнечные сутки) неодинаковы; колебания достигают 50 с. Для устранения этой неравномерности в XVIII в. было введено понятие среднего Солнца: это — воображаемая точка небесной сферы, которая равномерно движется по экватору, совершая один полный оборот относительно точки весеннего равноденствия в течение тропического года.

² *...долгота Гамбурга будет 27°44'.* — Эйлер указывает значения долготы от меридиана, проходящего через о-в Ферро — на 17°37' западнее лондонского. См. коммент. 4 к письму 158 и 2 к письму 159.

³ *...город Константинополь.* — Координаты Константинополя (ныне Стамбул): 41° с. ш., 28°57' в. д. по Гринвичу.

⁴ *...после того, как будут проведены испытания в длительном морском путешествии.* — Изобретатель хронометра — английский механик Джон Гаррисон (1729—1766). Созданные им часы (1759), о которых упоминает Эйлер, были испытаны в плавании через Атлантику в 1761—1762 гг. и показали отличные результаты. Так, по приходе на Ямайку их показания отличались от истинного времени на 5 с, что соответствует ошибке в 1.25'. Довольно долго, однако, хронометры оставались уникальными приборами, и проблема нахождения долготы по небесным светилам продолжала быть актуальной.

Радикальное решение проблемы дал радиотелеграф: судно, имеющее радиоаппаратуру, может принимать специальные сигналы, дающие гринвичское время с точностью до тысячной доли секунды.

⁵ *...эта попытка провалилась...* — См. коммент. 1 к письму 160.

Письмо 166

¹ *...у Юпитера четыре спутника...* — В настоящее время известны 16 спутников Юпитера.

² *...иначе, как в телескоп длиною по меньшей мере в четыре или пять футов...* — Четыре галилеевы спутника Юпитера — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто — ныне можно наблюдать в сильный бинокль.

Галилей (1564—1642), открывший эти спутники в 1610 г., был уверен, что определение долготы указанным способом возможно, и составил таблицы, предсказывающие моменты затмений. В надежде выиграть «долготный приз» он даже предложил свой метод Испании в 1616 г. На испанцев этот метод впечатления не произвел, и в 1636 г. Галилей попытался заинтересовать своим проектом Голландию, отмечая, что он потратил на совершенствование таблиц 24 года. Переговоры затянулись, и смерть Галилея положила им конец.

³ *...успешно работают над этим усовершенствованием телескопа...* — На основании расчетов Эйлера для ахроматических систем английскому оптику Дж. Доллонду (1706—1761) удалось построить телескоп значительно меньших размеров по сравнению с распространенными тогда конструкциями — без ущерба для качества и оптической силы. Возможно, Эйлер здесь это и имеет в виду.

⁴ *...один англичанин утверждал, будто изобрел подобное гнездо...* — Упомянутый уже английский механик Дж. Гаррисон установил один из своих хронометров для нейтрализации качки в карданном подвесе (изобретение Дж. Кардано, итальянского ученого XVI в.).

Письмо 169

¹ ...магнит — это минерал... — Имеется в виду естественный магнит, встречающийся в природе в виде магнитного железняка (магнетита) — минерала подкласса сложных окислов. Магнетит — главная руда железа.

² Два конца ее не будут более уравниваться... — Проявление так называемого наклона (см. о нем в последующих письмах): силовые линии геомагнитного поля далеко не везде параллельны земной поверхности.

Письмо 170

¹ ...предмет науки, которую называют подземной геометрией... — Этот раздел горной науки по-русски называется «маркшейдерия». Эйлер дает немецкое название.

² ...Называют склонением (или иногда — вариацией) компаса... — Теперь обычно говорят «магнитное склонение». Термин «вариация» в данном значении не употребляется.

³ ...магнитную стрелку прячут в картонный кружок... — Диск или кольцо из немагнитного материала (так называемую картушку) укрепляют на магнитной системе компаса не для сокрытия «секрета», а для удобства ориентирования: на картушку наносят деления градусной или румбовой системы (см. в этом письме ниже).

Письмо 171

¹ ...в разных областях Земли это склонение различно... — Существуют две линии (так называемые агонические), вдоль которых магнитное склонение равно нулю. Они разделяют всю земную поверхность на две области: в одной из них находятся Атлантический и Индийский океаны, Африка и западная часть Европы — склонение западное; в другой — Тихий океан, почти вся Азия и значительная часть обеих Америк — склонение восточное. В Москве, например, восточное склонение составляет около 7°.

² ...есть признаки, что... оно [магнитное склонение] будет уменьшаться... — В 1970 г. магнитное склонение в Берлине составляло около 5°.

³ ...до того времени, когда были открыты свойства магнитной стрелки; это время приходится на четырнадцатое столетие... — Свойства магнитной стрелки были известны в Китае 2000 лет назад. В Европе она появилась в XII в.; компасом служила полоска магнитного железа, укрепленная на пробке, плавающей в сосуде с водой. В XIV в. появилась стрелка на острие и круг с делениями.

⁴ ...в одном и том же месте — в разное время. — Известно, что положение геомагнитных полюсов с течением времени изменяется. Кроме того, чувствительная магнитная стрелка постоянно совершает колебания около направления на «север»: в утренние часы северный конец стрелки движется к востоку, достигает наибольшего отклонения часам к 8, возвращается обратно, проходит направление на «север», днем достигает наибольшего отклонения к западу и так колеблется с периодом в одни солнечные сутки. Амплитуда колебаний достигает в средних широтах 20°.

⁵ Галлей Эдмунд (Halley Edmund, 1656—1742) — английский ученый — физик, астроном, географ. Предсказал новое появление кометы 1682 г., носящей его имя, открыл собственные движения звезд.

Письмо 172

¹ ...склонение в то время было равно нулю. — См. коммент. 2 к письму 171.

² ...у побережья Каролины — В США существуют два штата — Северная и Южная Каролина, лежащие между 32° и 37° с. ш.

³ Новая Голландия — так называли Австралию.

Письмо 173

¹ *...физики... предполагают, что вся Земля обладает свойствами магнита...* — Общепринятой теории, объясняющей существование основного геомагнитного поля Земли, нет по сей день. Наибольшим признанием пользуется теория, связывающая геомагнитное поле с токами в земном ядре, возникающими благодаря ротации: в электропроводящем ядре Земли движение приводит к самовозбуждению магнитного поля. По всей вероятности, залежи ферромагнетиков в земной коре, на которые указывает Эйлер, играют при этом второстепенную роль — главным образом в создании локальных магнитных аномалий.

² *...в центре Земли лежит огромный магнит...* — Магнитное поле Земли практически совпадает с полем, которое создал бы магнит в виде стержня, если его мысленно поместить вблизи центра земного шара. При этом его надо расположить чуть в стороне от этого центра на 436 км в направлении Тихого океана и наклонить приблизительно на 12° к оси вращения Земли.

Письмо 175

¹ *Другой эффект принуждает стрелку наклониться к горизонту...* — См. коммент. 2 к письму 169.

² *...стрелка там приняла бы совершенно вертикальное положение...* — Если бы магнитное поле Земли было совершенно однородным, то в местах геомагнитных полюсов стрелка устанавливалась бы вертикально. Но под влиянием мировых магнитных аномалий геомагнитные полюсы и точки, где силовые линии вертикальны, не совпадают. Более того, эти точки блуждают.

³ *Дитерих Иоганнес* (Dieterich Johannes, ум. в 1758 г.) — швейцарский механик и ювелир.

⁴ *Бернулли Даниель* (Bernoulli Daniel, 1700—1782) — математик, физиолог, физик, механик. Швейцарец, академик «первого призыва» Петербургской Академии наук. С 1725 по 1730 г. — физиолог, с 1730 по 1733 г. — математик. С 1733 г. — почетный член Петербургской Академии наук. Фундаментальный труд «Гидродинамика или записки о силах и движениях жидкостей» был подготовлен в Петербурге, но опубликован в 1738 г. в Страсбурге.

⁵ *Измеритель наклона* — инклинометр. Современные инклинометры чаще всего — индукционные. Принцип работы прибора: в катушке, вращающейся в магнитном поле Земли, возникает э. д. с., которая отсутствует только в том случае, когда ось вращения катушки направлена вдоль вектора магнитного поля.

⁶ *Кола* — поселок на Кольском полуострове, на р. Коле.

⁷ *Умба* — поселок на Кольском полуострове, на р. Умбе.

⁸ *Поной* — поселок на Кольском полуострове, на р. Поной.

Письмо 176

¹ *...все остальные тела ей совершенно безразличны.* — Материалы, ведущие себя в магнитном поле подобно железу, называются ферромагнетиками. Сейчас известны такие ферромагнитные металлы (кроме многочисленных сплавов): железо, кобальт, никель, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий. Последние пять относятся к так называемым «редким землям», или лантаноидам.

Письмо 177

¹ *...вены и лимфатические сосуды в теле животных имеют подобное же устройство* — Здесь Эйлер применяет результаты своих первых исследований в Петербургской Академии наук. Тогда он был адъюнктом Д. Бернулли и они занимались физиологией животных.

Письмо 180

¹ ...*виду огромных размеров Земли.* — Силу, или лучше — напряженность, магнитного поля в традиционной гауссовой системе измеряют в эрстедах (Э) (в системе СИ — в амперах на метр; $1 \text{ а/м} = 0.04 \pi \text{ Э}$). В современных лабораториях получают магнитные поля в десятки тысяч эрстед. По сравнению с ними величина напряженности геомагнитного поля весьма невелика: на магнитных полюсах $0.6\text{—}0.7 \text{ Э}$, на магнитном экваторе $0.3\text{—}0.4 \text{ Э}$. При оценке переменного геомагнитного поля используют даже стотысячные доли эрстеда — гаммы. Изменение магнитного поля на несколько сот гамм — уже сильная магнитная буря. Хотя магнитное поле Земли и невелико, но общий магнитный момент (характеристика намагниченности) Земли — из-за громадного объема планеты — колоссален и составляет около 9 септиллионов электромагнитных единиц.

Письмо 182

¹ ...*удерживающие более ста фунтов.* — По преданию, гроб с телом Магомета «висит» между небом и землей. Вот как комментирует это место из «Писем» Эйлера Я. И. Перельман в книге «Занимательная физика» (М., 1979. Кн. 2. С. 178): «Такое объяснение несостоятельно; если бы указанным способом (т. е. пользуясь *притяжением* магнита) подобное равновесие было достигнуто на один момент, то малейшего толчка, малейшего дуновения воздуха было бы достаточно, чтобы его нарушить, — тогда гроб либо упал бы на пол, либо подтянулся бы к потолку. Удержать его неподвижно практически так же невозможно, как поставить конус на его вершине, хотя теоретически последнее допустимо». Заметим, что сверхпроводники способны полностью выталкивать из себя магнитное поле (идеально диамагнитны). В результате тяжелый магнит может неподвижно висеть в воздухе над сверхпроводником без всякой видимой поддержки. Такого рода опыты физики называют «гроб Магомета».

Письмо 187

- ¹ *Они видны только в хорошую зрительную трубу...* — См. коммент. 2 к письму 166.
- ² ...*чтобы увидеть спутники Сатурна...* — Ко второй половине XVIII в. было известно 5 спутников Сатурна — Титан, Япет, Рея, Диона и Тефия.
- ³ ...*в сто или даже в тысячу раз крупнее, чем на самом деле.* — В лучших микроскопах того времени — конструкции английского оптика Дж. Кеффа — увеличение достигало 140 крат. Теоретически полезное увеличение микроскопа не может превышать 1500 крат из-за дифракции. В середине XVIII в. получили распространение солнечные проекционные микроскопы, отбрасывавшие изображение на экран. Конструкцию такого прибора для непрозрачных объектов предложил Эйлер в 1753 г.
- ⁴ *Эти приборы были изобретены всего лишь несколько веков тому назад...* — Считается, что первый телескоп был построен в 1604 г. по модели Дж. Порты, датированной 1590 г. Первые же микроскопы появились также в XVII в.; больших успехов в их изготовлении добился голландец А. Левенгук (1632—1723). См. коммент. 1 к письму 204.
- ⁵ ...*были сделаны наиболее важные открытия...* в физике при помощи микроскопов. — Под «физикой» автор подразумевает не только собственно физику, но и другие естественные науки — биологию, минералогию, химию.

Письмо 188

¹ ...*пользуются трепелом.* — Трепел — тонкопористая осадочная горная порода, состоящая из микроскопических зерен опалового кремнезема, аналогичная диатомиту, но почти без органических остатков; используется для тонкой шлифовки поверхностей.

Письмо 190

¹ *Если на месте объекта О находится Солнце, все его лучи... собираются в точке J.* — Изображение Солнца в фокусе линзы не является точечным.

Письмо 193

¹ *...уже способна расплавить золото.* — Температура плавления свинца — 327 °С, меди — 1083 °С, золота — 1064 °С. Если считать температуру человеческого тела («нашей крови») равной 37 °С, то золото плавится при температуре всего в 30 раз большей.

Письмо 194

¹ *...зеленый цвет требует 12 000 колебаний в секунду...* — Для дальнейших рассуждений Эйлера предложенное им число не имеет принципиального значения. В действительности же ощущение зеленого цвета вызывают электромагнитные волны частотой около 550 Гц.

Письмо 195

¹ *Если бы мы убрали линзу...* — В современном понимании камера-обскура — оптический прибор, в котором изображение создается с помощью очень малого («булавочного») отверстия, отклоняющего световые лучи из-за дифракции. Такой «объектив» свободен от некоторых оптических aberrаций, благодаря чему архитекторы и художники пользуются камерой-обскурой для съемки точных пропорций объектов и их перспективных отношений.

Исследованиями по дифракции Ж. Н. Делиль занимался с 1714 г. еще в Париже. В Петербурге он продолжил и развил свои работы, к которым привлек и всех своих учеников по астрономии, в том числе Л. Эйлера, М. В. Ломоносова и других. Петербургские лабораторные исследования по дифракции пользовались всеобщим вниманием. Эти работы Делиля и его сотрудников хранятся в Париже, в его архиве. Ученый секретарь Бюро долгот Д. Ф. Ж. Араго (Arago Dominique Francois Jean, 1786—1853), изучив архив Делиля, обнаружил там описание лабораторных экспериментов по дифракции света и повторив их, убедился в их точности. В те годы ученые верили в то, что свет — явление корпускулярное, тогда как Делиль и вслед за ним все петербургские ученые считали свет явлением волновым, как это вытекало из экспериментов по дифракции. Араго как академик не решался идти против общего мнения, а потому сообщил описание экспериментов Делиля французскому инженеру по прожекторам Огюстену Жану Френелю (Fresnel Ogustin Jean, 1788—1827) и английскому врачу Томасу Юнгу (Young Thomas, 1773—1829). Оба экспериментатора наперебой приглашали Араго в соавторы, удивляясь его проницательности, однако он скромно отказался. После того как их работы были напечатаны, Араго горячо поддержал их. Так была заново открыта дифракция света, которая подтверждала волновые свойства света, что с тех пор и вошло в жизнь. Подробнее см.: *Невская Н. И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984. Гл. 5; Источники по истории астрономии России XVIII в. / Сост. и пер. Н. И. Невской. СПб., 2000. Гл. V.

Письмо 196

¹ *...пригоден для показа любых объектов.* — См. коммент. 3 к письму 187.

Письмо 198

¹ ...монета в два дрейера... — мелкая серебряная монета, около 7 мм в диаметре.

² ...которые являли бы им предметы на большем отдалении. — Использование линз для исправления дефектов зрения известно с древних времен (рассказывают, что римский император Нерон в I в. н. э. смотрел через особый образцом отполированный изумруд). Согласно словарю итальянской академии Делла Круска, очки были изобретены в 1285 г. Первые очки (с выпуклыми линзами) были предназначены для исправления старческой дальнозоркости. Время появления очков с вогнутыми линзами для близоруких точно неизвестно.

Письмо 199

¹ ...могли бы отчетливо видеть на расстоянии меньше одного дюйма. — См. коммент. 3 к письму 44.

² ...видимые размеры каждого предмета... — Имеются в виду угловые размеры (см. в этом письме ниже).

³ ...как слон на расстоянии десяти футов. — См. коммент. 3 к письму 35.

⁴ ...потому что его видимые размеры стали бы слишком малы. — Наименьший размер видимого предмета определяется наименьшим размером его изображения на сетчатке глаза. Для нормального глаза этот размер равен 3.6 мкм. Такое изображение получается от предмета размером 0.06 мм, расположенного на расстоянии 25 см от глаза. Правильнее ограничить этот предел углом зрения: для указанного случая он составит 50 угловых секунд. Для больших расстояний и ярко светящихся объектов предельный угол зрения уменьшается. Условно считается, что острота зрения равна единице, если минимальный угол между двумя точками, при котором эти точки видны раздельными, равен 1 минуте. Предмет перестает различаться глазом, если он удален на расстояние, в 3438 раз превышающее его величину. Если принять, что размеры слона могут достигать (в высоту) 3.5 м, то он станет «невидимым» уже на расстоянии около 12 км.

Письмо 200

¹ ...дающее увеличение до 500 раз. — Именно по указаниям, оставленным Эйлером в его «Диоптрике», в самом начале XIX в. мастером И. Тидеманом из Штутгарта был построен микроскоп с увеличением до 700 крат. См. коммент. 3 к письму 187.

² ...микроскопы, которые будут увеличивать в 1000 и даже в 2000 раз... — Полезное увеличение световых микроскопов не превышает 1000-кратного. Наблюдая объект в лучах с длиной волны λ , невозможно различить элементы объекта, разделенные расстоянием, намного меньшим, чем λ . Длины волн видимого света располагаются между 400 и 800 нм (приблизительно); разрешение на так называемом расстоянии наилучшего видения составляет около 0.08—0.20 мм. Микроскопы с увеличением более 1000-кратного дают нечеткое изображение.

³ ...на расстояние 8 дюймов. — Около 20.5 см.

Письмо 201

¹ ...простые микроскопы, состоящие лишь из одной выпуклой линзы. — Именно такими были первые микроскопы, в том числе микроскопы Левенгука.

Письмо 202

¹ ...все еще кажутся мелкими словно блохи... — Самые распространенные микроорганизмы, содержащиеся в воде, имеют размеры от тысячных долей до единиц миллиметра, что при увеличении в 200 раз даст размеры соответственно от десятых долей миллиметра до нескольких сап-

тиметров. Крупнейшие из них при таком увеличении будут казаться (если уж следовать сравнениям Эйлера) много больше блох, которые имеют размеры от 1 до 6 мм.

² *...когда линза... меньше зрачка.* — В оптических приборах (особенно сложных) уменьшение яркости происходит также из-за поглощения света оптической системой.

Письмо 203

¹ *...их следует отличать от очков, носимых стариками на носу.* — По-французски зрительная труба называется «lunette», а очки — «lunettes». «Lunette» — «маленькая луна» — так поначалу называли линзы за их округлую форму.

² *Гевелиус (Гевелий) Ян*, (Hevelius, 1611—1687) — польский астроном. Гевелий наблюдал Луну и составил ее подробные карты, которыми пользуются и сегодня («Селенография, или Описание Луны» (1647)). На основании наблюдения комет он опубликовал «Кометографию» (1668) и в книге «Небесная машина» (1673—1679) напечатал описание своей обсерватории и всех ее инструментов.

Письмо 204

¹ *...по фамилии Порты.* — Порта Джамбатиста (della Porta Jambattista, 1540—1615) — итальянский физик, врач и писатель. Сконструировал камеру-обскуру. Ему же некоторые источники приписывают создание первой зрительной трубы. Трудно сказать, кто первый изобрел телескоп. Известно, что еще древние употребляли увеличительные стекла. Дошла до нас и легенда о том, что якобы Юлий Цезарь во время набега на Британию с берегов Галлии рассматривал в подзорную трубу туманную британскую землю. Роджер Бэкон, один из наиболее замечательных ученых и мыслителей XIII в., в одном из своих трактатов утверждал, что он изобрел такую комбинацию линз, с помощью которой отдаленные предметы при рассматривании их кажутся близкими.

Так ли это было в действительности — неизвестно. Бесспорно, однако, что в самом начале XVII в. в Голландии почти одновременно об изобретении подзорной трубы заявили три оптика — Липпергей, Меццус и Янсен. Рассказывают, что будто бы дети одного из оптиков (по-видимому, все-таки Липпергея), играя с линзами, случайно расположили две из них так, что далекая колокольня вдруг показалась близкой.

² *Окуляр* — От латинского слова *oculus* — «глаз».

³ *...приходящие от этих предметов лучи можно считать параллельными.* — Не вполне ясно, что здесь имеет в виду Эйлер. Строго говоря, параллельные лучи приходят от бесконечно удаленных источников, и нельзя сказать, что люди лучше всего видят бесконечно удаленные предметы. На деле же получается, что мы лучше всего видим предметы, чьи размеры на порядок меньше так называемого расстояния наилучшего видения, на котором нормальный глаз испытывает наименьшее напряжение при рассматривании. В некоторых случаях лучи, исходящие от таких предметов, для простоты действительно можно считать параллельными (ср. оборот «почти параллельны», употребленный Эйлером в последней фразе этого письма).

Письмо 206

¹ *...диаметр поля зрения составлял бы лишь четверть градуса.* — Очевидно, здесь Эйлер совершенно машинально употребляет выражение «четверть Луны» для обозначения половины видимого лунного диска, поскольку при смене лунных фаз именно эта конфигурация завершает (или начинает) очередную «четверть».

² *...тем меньше становится их поле зрения...* — Именно поэтому мощные телескопы снабжаются так называемыми искателями — трубами с меньшим увеличением, но большим полем зрения; будучи смонтированы параллельно основному телескопу, они позволяют достаточно быстро отыскать нужный участок неба по легко узнаваемым крупным ориентирам.

Письмо 208

¹ ...за короткое время можно привыкнуть видеть предметы перевернутыми... — Еще в начале XX в. психологи начали проводить эксперименты с так называемыми инвертирующими очками (переворачивающими видимый мир), пытаясь ответить на вопрос, как мозг «обрабатывает» изображение, сформированное на сетчатке глаза. В частности, в 70-е гг. подобный эксперимент был воспроизведен на кафедре общей психологии Московского университета. Полная адаптация к перевернутому изображению у испытуемого произошла тогда на девятый день.

Письмо 209

¹ ...примерно как в подзорной трубе (Lorgnette)... — Фр. lorgnette. По словарю Н. П. Макарова, это зрительная трубочка, лорнетка, никак не подзорная труба.

Письмо 211

¹ Иной раз довольствуются даже половиной этой величины, приписывая зрачку ширину в половину линии, а иногда еще меньше. — Одна линия — около 2 мм. При больших яркостях поля зрения зрачок сужается до 1.5 мм (в темноте расширяется до 7—8 мм), так что поперечник зрачка менее половины линии в нормальном глазу вряд ли реален.

² ...свет Солнца более чем в 300 000 раз превосходит свет Луны... — В письмах 140 и 202 Эйлер приводит иную величину — 200 000. См. коммент. 2 к письму 95.

Письмо 212

¹ ...уменьшить эту чрезмерную длину и с немалым успехом. — Телескоп Х. Гюйгенса (1629—1695) длиной 64 м давал худшее изображение, чем ахроматический инструмент Дж. Доллонда длиной около 1.5 м. См. коммент. 1 к письму 215.

² ...таких больших линз... — Рекорд в изготовлении объективов для телескопов-рефракторов был достигнут американской фирмой «Альван Кларк и сыновья»: в 1897 г. Йеркская обсерватория близ Чикаго стала обладательницей рефрактора с объективом в 40 дюймов (3.3 фута, или около 102 см). Возможно, что это предел: объективы с большим поперечником должны быть слишком толстыми и потому поглощающими много света; кроме того, под влиянием собственного веса они прогибаются. Так что побивать такие рекорды нет смысла. А успешная работа с Йеркским телескопом (как и с Ликским — в другой американской обсерватории) продолжается по сей день.

³ ...чем Берлин от Шпандау... — Шпандау — ныне городской район в черте Берлина.

Письмо 213

¹ ...называется рассеянием изображения — абберационное пятно рассеяния, получающееся в том случае, если точка-объект не находится в параксиальной области линзы.

² ...значительно менее 90°... — Для нас в подобных случаях более привычны иные характеристики — радиус кривизны, фокусное расстояние (о них Эйлер упоминает лишь в самом конце этого письма и в последующих письмах).

Письмо 215

¹ ...это почти совершенно бесполезная громадина. — 100 футов — немногим более 30 м, тогда как великие наблюдатели XVII в. пользовались гораздо более впечатляющими инструмен-

тами и с их помощью ухитрились делать замечательные открытия. Так, Ян Гевелий (1611—1687), работая с телескопом длиной около 50 м, впервые составил подробное описание лунной поверхности, каталог более 1500 звезд и др.; Х. Гюйгенс (1629—1695), пользуясь телескопом длиной 64 м, первым ясно рассмотрел кольцо Сатурна, ускользнувшее от Галилея из-за сильной аберрации, а также открыл главный спутник Сатурна — Титан.

² *...искусные мастера... работают над ее осуществлением...* — См. коммент. 3 к письму 166 и 1 к письму 212.

³ *...с помощью механика нашей Академии...* — имеется в виду Берлинская Академия наук.

⁴ *Лондонское научное общество* — Лондонское королевское общество — Royal Society of London.

⁵ *Доллонд Джон* (Dollond John, 1706—1761) — английский механик и оптик. Изготовил первые ахроматические телескопы на основании теории Леонарда Эйлера. В 1758 г. Доллонд получил патент на ахроматическую трубу, в которой собирающая линза была из кронгласса, а рассеивающая — из флинтгласса. Трубы Доллонда получили всемирное признание. Первый ахроматический микроскоп был изготовлен в Петербургской Академии наук академиком Францем Ульрихом Теодором Эпинусом (Aepinius Franz Ulrich Theodor, 1724—1802).

⁶ *Пассман Клод Симон* (Passemant Claude Simon, 1702—1769) — французский оптик, астроном, изобретатель.

Письмо 216

² *...фокусное расстояние линзы несколько меньше, чем радиус ее поверхностей...* — В самом простом случае, когда радиусы кривизны r сферических поверхностей, ограничивающих линзу, равны, фокусное расстояние F линзы зависит от показателя преломления m материала линзы следующим образом:
$$F = \frac{r}{2(m-1)}$$
 Если $m > 1,5$ — а у большинства сортов стекла в видимой части спектра так оно и есть, то, очевидно, $F < r$ (для разных радиусов кривизны формула несколько сложнее, но это дела не меняет).

Письмо 218

¹ *Этот новый род рассеяния (или множественности изображений).* — Речь идет о феномене, называемом аберрациями оптических систем. См. коммент. 1 к письму 43. В письме 216 Эйлер анализирует так называемую сферическую аберрацию, в этом — обращается к хроматической.

² *Эти составные объективы, состоящие из двух линз и воды...* — Объективы из стекла и воды Эйлер начал строить еще в Петербурге.

Письмо 220

¹ *...чтобы получить увеличение в 300 раз, диаметр объектива должен быть равен трем дюймам...* — Здесь ошибка. Выше, в письмах 212 и 213, Эйлер пишет, что трехдюймовые линзы использовались для труб со 100-кратным увеличением, и это соответствует действительности.

² *...притом весьма пространно.* — См. письма 164, 212, 215.

Письмо 223

¹ *...черный цвет не отражает лучей, каким бы сильным ни был падающий на него свет.* — Это справедливо только для идеальной ситуации — в случае так называемого абсолютно черного тела. Сам Эйлер в этом же письме пишет далее, что «не бывает черного цвета столь густого, чтобы он, будучи освещен, не породил хотя бы слабого света».

Письмо 224

¹ ...Луна населена разумными существами... — В 1748 г. по призыву Ж. Н. Делиля, который вернулся из Петербурга в Париж, все астрономы наблюдали кольцеобразное затмение Солнца 14/25 июля. В результате было установлено, что на Луне нет атмосферы. Один лишь Л. Эйлер, наблюдавший в Берлине, пришел к заключению, что Луна имеет атмосферу, хотя и не столь протяженную, как земная. Возможно, что на него оказала влияние работа И. Кеплера «Сон», где описывалось воображаемое путешествие на Луну. Делиль высоко ценил И. Кеплера, и в Библиотеке Петербургской Академии наук по его заказу были все труды Кеплера. В обсерватории под руководством Делиля их внимательно изучали, а оригиналы некоторых из них Делиль имел в личной библиотеке. Эйлер посвятил вопросу об атмосфере Луны две работы: «Размышления о последнем затмении Солнца 25 июля 1748 г.» и «Об атмосфере Луны, доказанной последним кольцеобразным затмением Солнца» (*Euler L. 1) Réflexions sur la dernière éclipse du Soleil du 25 Juillet A. 1748 // Mémoires de l'Académie roy. sci. et belles-lettres de Berlin (1747). Berlin, 1749. V. 3. P. 250—273; 2) Sur l'atmosphère de la Lune prouvée par la dernière éclipse annulaire du Soleil // Ibid. V. 4 (1749). Berlin, 1750. S. 103—121*). Подробнее см.: *Невская Н. И.* Первые работы по астрофизике в Петербургской Академии наук (XVIII в.) // Историко-астрономические исследования. М., 1969. С. 121—157.

² ...чтобы оно казалось не крупнее неподвижной звезды. — Таким образом, Эйлер мысленно отдаляет Солнце на расстояние около 3 световых лет, что вполне согласуется с межзвездными масштабами. См. коммент. 3 к письму 20.

³ ...в 1000 раз превышает расстояние до Солнца... — Эйлер несколько непоследователен в оценках расстояний: 1000 астрономических единиц не составят и одного светового года.

⁴ ...около 15 000 000 немецких миль. — Автор достаточно вольно обращается с величинами; например, в письме 16 он оценивает расстояние до Солнца в 30 млн миль (см. коммент. 2 к этому письму). 15 млн нем. миль составляют около 111 млн км, что почти на 40 млн км меньше истинного среднего расстояния от Земли до Солнца.

Письмо 226

¹ ...примем ее за орла... — См. коммент. 3 к письму 35.

² ...Солнце, находящееся в 100 раз дальше Луны... — Вероятно, здесь автор выразился фигурально, потому что расстояния до Солнца и до Луны были ему известны (см., напр., письмо 1).

Письмо 228

¹ ...«Вывод из положения, которое еще должно быть доказано»... — В оригинале — *pétition de principe*. См. коммент. 2 к письму 128.

Письмо 229

¹ ...равным одной немецкой миле... — Эйлер полагает высоту земной атмосферы равной около 7.4 км. По современным понятиям, высота атмосферы может быть условно выражена величиной 2000 км (т. е. почти в 300 раз больше), хотя в различных направлениях она неодинакова: скажется, например, влияние солнечного ветра, инерции при движении Земли по орбите и др. Обычно — в климатологии — говоря о высоте атмосферы, наивысшим ее слоем называют ионосферу, простирающуюся до высот порядка 400 км. Однако 90% всей массы атмосферы сосредоточено в ее 20-километровом слое.

Письмо 230

¹ *Именно на этой иллюзии основано все искусство живописи.* — Распределение различных по яркости цветов или оттенков одного цвета, позволяющее воспринимать изображенный предмет объемным, окруженным свето-воздушной средой, называется светотенью. К возможностям светотени прибегали уже античные живописцы. Светотень и ее теорию разрабатывали мастера Возрождения (особенно Леонардо да Винчи), и с этого времени она широко использовалась художниками как одно из средств, определяющих эмоциональную выразительность произведений.

Письмо 231

¹ *...Луна, как и Солнце, кажется нам значительно крупнее у горизонта, чем на большой высоте...* — Эйлер приводит несколько объяснений этой общераспространенной иллюзии. Можно привести еще такое: оценивая расстояние до видимого объекта, человек рефлекторно вносит поправку на величину мышечного усилия, необходимого для достижения этого объекта (в том числе посредством метания какого-либо метательного снаряда). Если это так, то объекты, для достижения которых нужно преодолеть вертикальную составляющую дистанции, будут оцениваться при разных размерах как более далекие. Поскольку, как замечает Эйлер, истинных размеров светил не представляет себе никто, эффект в наиболее чистом виде имеет место именно в случае с небесными светилами.

² *...мы видим прекрасный голубой цвет.* — Синий цвет неба — следствие того, что атмосфера сильно рассеивает лучи коротковолновой части видимого спектра. Красные и желтые лучи рассеиваются менее всего (именно поэтому они используются при подаче предупреждающих сигналов).

³ *...самые малые частицы воды — зеленоватые...* — См. коммент. 6 к письму 32.

⁴ *...мельчайшие частицы, из которых состоит воздух, по природе своей — голубоватые.* — См. коммент. 3 к письму 32.

Письмо 232

¹ *...яркость полной Луны в 300 000 раз меньше яркости Солнца...* — См. коммент. 2 к письму 211.

² *...называется сумерками.* — Началом вечерних астрономических сумерек считается тот момент, когда Солнце опускается под горизонт на 18°. С этого момента на безоблачном и безлунном небе для невооруженного глаза становятся видимыми слабые звезды шестой величины. От астрономических сумерек отличают гражданские, в момент начала которых Солнце ниже горизонта на 7°. В это время становятся видимыми наиболее яркие звезды. На экваторе гражданские сумерки длятся 24 мин, на полюсе они достигают 15 -16 суток. В Санкт-Петербурге астрономические сумерки продолжаются с середины апреля до середины августа («белые ночи»).

Список иллюстраций

Фредерика Шарлотта Леопольдина Луиза фон Брандербург-Шведт. Портрет работы неизвестного художника. Первая половина XVIII в. Городской музей г. Херфорда, ныне дом Даниэля Поппельмана.

Луиза Генриетта Вильгельмина фон Ангальт-Дессау. Государственные замки и сады Вёрлица. Ораниенбаум, Луизиум. Портрет маслом В. Харткопфа (1862—1918) с картины Христиана Рейнгольда Лизьевского (1725—1794).

Здание Берлинской обсерватории, где в годы работы в Берлине Л. Эйлер был директором.

Замок Вернигероде. Магдебург. Ныне Музей феодального периода.

Вид города Магдебурга.

Вёрлиц. Горбатый мостик в ландшафтном парке.

Вёрлиц. Княжеский замок.

Л. Эйлер. Гравюра В. П. Соколова с портрета работы И. Г. Бруккера. 1737 г.

Л. Эйлер. «Тезисы по Логике». Латинский текст из записной книжки (РАН, ф. 136, оп. 1, д. 134, л. 15 об.).

Титульный лист «Писем к немецкой принцессе». Полное собрание сочинений Л. Эйлера. Цюрих, 1960. Т. 1 («Leonhardi Euleri Opera Omnia»).

СОДЕРЖАНИЕ

ТОМ ПЕРВЫЙ

Письмо 1.	О протяженности	7
Письмо 2.	О скорости	9
Письмо 3.	О звуке и его скорости	10
Письмо 4.	О консонансах и диссонансах	12
Письмо 5.	Об унисоне и октавах	14
Письмо 6.	О других созвучиях	16
Письмо 7.	О двенадцати тонах клавиесина	18
Письмо 8.	Об удовольствии, доставляемом хорошей музыкой	21
Письмо 9.	О сжатии воздуха	23
Письмо 10.	О разреженности и упругости воздуха	25
Письмо 11.	О тяжести воздуха	27
Письмо 12.	Об атмосфере и барометре	29
Письмо 13.	О духовых ружьях и о сжатии воздуха в пушечном порохе	31
Письмо 14.	О действии, оказываемом теплом и холодом на все тела; о пирометрах и термометрах	33
Письмо 15.	Об изменениях, которые вызывают в атмосфере тепло и холод	35
Письмо 16.	Почему повсюду и в любое время года одинаково ощущается низкая температура, как тогда, когда поднимаются на самые высокие горы, так и тогда, когда спускаются в самые глубокие погреба	37
Письмо 17.	О лучах света и о системах Декарта и Ньютона	39
Письмо 18.	О затруднениях, с которыми встречаются в этой последней системе истечения	41
Письмо 19.	Изложение другой системы о природе лучей света	43
Письмо 20.	О распространении света	46
Письмо 21.	Отступление о протяженности мира, затем о природе Солнца и его лучей	48
Письмо 22.	Дальнейшие объяснения о природе самосветящихся тел и о различиях между этими телами и освещенными темными телами	50
Письмо 23.	О способе, с помощью которого темные тела становятся нам видимы, и изложение мнения Ньютона, считающего причиной этого отражение лучей	52
Письмо 24.	Обсуждение и опровержение этого мнения	54
Письмо 25.	Другое объяснение способа, с помощью которого освещенные темные тела становятся нам видимы	56
Письмо 26.	Продолжение этого объяснения	58
Письмо 27.	Конец этого объяснения о яркости и цвете освещенных темных тел	60

Письмо 28. О природе цветов в особенности	63
Письмо 29. О прозрачности тел, связанной с тем, что тела пропускают сквозь себя лучи	65
Письмо 30. О прохождении лучей света через прозрачные среды и об их преломлении	67
Письмо 31. О рефракции лучей разных цветов	69
Письмо 32. О голубизне неба	72
Письмо 33. Об ослаблении лучей, исходящих из отдаленной светящейся точки, и об угле зрения	74
Письмо 34. О том, что суждение дополняет зрение	76
Письмо 35. Объяснение некоторых явлений, относящихся к оптике	78
Письмо 36. О тени	80
Письмо 37. О катоптрике, и в частности об отражении лучей плоскими зеркалами	82
Письмо 38. Об отражении лучей выпуклыми и вогнутыми зеркалами; о зажигательных зеркалах	85
Письмо 39. О диоптрике	87
Письмо 40. Продолжение той же темы, в особенности о зажигательных стеклах и об их фокусе	89
Письмо 41. О зрении и о строении глаза	91
Письмо 42. Продолжение и рассмотрение чудесных особенностей, открывающихся в строении глаза	93
Письмо 43. Продолжение, и в особенности об огромном различии между глазом животного и искусственным глазом или камерой-обскурой	95
Письмо 44. О других совершенствах, обнаруживаемых в строении глаза	97
Письмо 45. О тяжести, или весе, как общем свойстве всех известных нам тел	98
Письмо 46. Продолжение той же темы, и в особенности об удельном весе	100
Письмо 47. О некоторых терминах и словах, относящихся к понятию тяжести тел, и об их истинном смысле	102
Письмо 48. Ответ на некоторые возражения, выдвигаемые против сферической формы Земли и основанные на понятии тяжести	104
Письмо 49. Об истинном направлении и о действии силы тяжести относительно Земли	106
Письмо 50. О различном действии силы тяжести, в особенности в разных местах и на разных расстояниях от центра Земли	108
Письмо 51. О силе тяжести Луны	110
Письмо 52. Об открытии всемирного тяготения, сделанном великим Ньютоном	112
Письмо 53. Продолжение о взаимном притяжении небесных тел	114
Письмо 54. О различных мнениях философов относительно всемирного тяготения и особенно о мнениях аттракционистов, последователей теории притяжения	116
Письмо 55. О силе, с которой притягиваются друг к другу все небесные тела	118
Письмо 56. На ту же тему	119
Письмо 57. На ту же тему	121
Письмо 58. О движении небесных тел и методе его определения с помощью закона всемирного тяготения	123
Письмо 59. О системе мира	124
Письмо 60. На ту же тему	126
Письмо 61. О небольших неправильностях, наблюдающихся в движении планет, вызванных их взаимным притяжением	128
Письмо 62. Описание морских приливов и отливов	130
Письмо 63. О различных мнениях философов относительно морских приливов и отливов	132
Письмо 64. Детальное объяснение этого явления морских приливов и отливов с помощью силы притяжения Луны	134
Письмо 65. Продолжение	136
Письмо 66. Продолжение	137

Письмо 67. Продолжение	139
Письмо 68. Более подробное изложение спора философов о причине всемирного тяготения	142
Письмо 69. О природе и основных свойствах тел, или же о протяженности, подвижности и непроницаемости тел	144
Письмо 70. О непроницаемости тел в особенности	146
Письмо 71. О движении и покое истинном и кажущемся	148
Письмо 72. О равномерном движении и о движениях ускоренном и замедленном	150
Письмо 73. Об основном законе движения и покоя и о спорах философов по этому вопросу	153
Письмо 74. Об инерции тел и о силах	155
Письмо 75. Об изменениях, которые могут происходить в состоянии тел	157
Письмо 76. О вольфианской системе монад	159
Письмо 77. О происхождении и природе сил	161
Письмо 78. На ту же тему и о принципе наименьшего действия	163
Письмо 79. О вопросе, существуют ли еще и другие виды сил	166

ТОМ ВТОРОЙ

Письмо 80. О природе духовных субстанций	171
Письмо 81. О взаимосвязи между душой и телом	173
Письмо 82. О различных системах для объяснения единства души и тела	174
Письмо 83. Рассмотрение системы предустановленной гармонии и возражения против этой теории	176
Письмо 84. Другое возражение против этой системы	178
Письмо 85. О свободе духа и ответ на возражения, обычно выдвигаемые против этой свободы	180
Письмо 86. На ту же тему	182
Письмо 87. О влиянии свободы на события в мире	184
Письмо 88. О событиях естественных, сверхъестественных и моральных	186
Письмо 89. Вопрос о лучшем из миров и о происхождении зла и грехов	188
Письмо 90. Связь предшествующих соображений с религией и ответ на возражения, выдвигаемые почти всеми философскими системами против молитвы	191
Письмо 91. О свободе разумных существ и о том, что она не противоречит догмам христианской религии	193
Письмо 92. Дальнейшие разъяснения относительно природы духовных субстанций	195
Письмо 93. Продолжение той же темы и размышления о состоянии душ после смерти	197
Письмо 94. Более детальные размышления о воздействии души на тело и обратно — тела на душу	199
Письмо 95. О способностях души и о суждении	201
Письмо 96. Об уверенности в существовании того, что мы воспринимаем органами чувств. Об идеалистах, эгоистах и материалистах	204
Письмо 97. Опровержение мнения идеалистов	206
Письмо 98. О способности чувствовать. О воспоминании, памяти и внимании. Об идеях простых и сложных	208
Письмо 99. О делении идей на неясные и ясные, смутные и отчетливые. О рассеянности	210
Письмо 100. Об абстракции и понятиях. О понятиях общих и индивидуальных. О видах и родах	212
Письмо 101. О языках, их сущности, пользе и необходимости как для взаимного обмена мыслями, так и для развития наших собственных знаний	214
Письмо 102. О степени совершенства того или иного языка. О суждениях и о свойстве предложений, утвердительных или отрицательных, общих или частных	217

Письмо 103.	О силлогизмах и об их различных формах, если первое предложение — общее	220
Письмо 104.	О различных формах силлогизмов, если первое предложение — частное	226
Письмо 105.	Анализ некоторых силлогизмов	230
Письмо 106.	О различных фигурах и модусах силлогизмов	233
Письмо 107.	Наблюдения и размышления относительно различных модусов силлогизмов	239
Письмо 108.	О гипотетических предложениях и о силлогизмах, которые на них основаны	241
Письмо 109.	О воздействии ощущений на душу	244
Письмо 110.	Более детальные размышления о происхождении и допустимости зла и грехов в мире	246
Письмо 111.	О моральных и физических несчастьях	248
Письмо 112.	Ответ тем, кто жалуется на физические бедствия в этом мире	250
Письмо 113.	Об истинном предназначении людей и о пользе и необходимости бедствий в этом мире	251
Письмо 114.	Об истинном блаженстве и об обращении грешников. Ответ на возражения, которые можно было бы выдвинуть по этому поводу	253
Письмо 115.	Об истинном основании всех наших знаний. О трех источниках истины и трех классах наших знаний, отсюда возникающих	255
Письмо 116.	На ту же тему и в особенности о заблуждениях при познании истины	257
Письмо 117.	О первом классе наших знаний и особенно об убеждении, что вне нас реально существуют объекты, соответствующие представлениям, которые мы получаем от органов чувств. Возражение пирронистов против этого убеждения и ответ на это возражение	259
Письмо 118.	Другое возражение пирронистов против достоверности истин, познаваемых с помощью органов чувств. Ответ на это возражение и о предосторожностях, которые следует соблюдать, чтобы убедиться в правдивости органов чувств	261
Письмо 119.	О достоверности демонстративной, физической и в особенности о достоверности моральной	263
Письмо 120.	Замечания о том, что органы чувств способствуют увеличению наших знаний, и о предосторожностях, которые следует соблюдать, чтобы убедиться в достоверности исторических истин	265
Письмо 121.	О вопросе, известна ли нам сущность тел или нет?	267
Письмо 122.	Об истинном понятии протяженности	269
Письмо 123.	О делимости протяженности до бесконечности	271
Письмо 124.	Присуща ли эта бесконечная делимость реально существующим телам?	274
Письмо 125.	Знаменитый спор о монадах	275
Письмо 126.	Дальнейшие размышления о бесконечной делимости тел и о монадах	278
Письмо 127.	Опровержение и ответ на возражения монадистов против бесконечной делимости тел	280
Письмо 128.	О принципе достаточного основания, который является самой сильной опорой монадистов	282
Письмо 129.	Другой довод сторонников монад, выведенный из принципа достаточного основания, и о нелепостях, неизбежно из этого вытекающих	284
Письмо 130.	Самые детальные размышления о системе монад	286
Письмо 131.	Продолжение	288
Письмо 132.	Конец размышлений о системе монад	290
Письмо 133.	Объяснения о природе цветов	293
Письмо 134.	Размышления об аналогии между светом различных цветов и звуками	295
Письмо 135.	Продолжение этих размышлений	297
Письмо 136.	О вопросе, каким образом темные тела становятся нам видимы	299
Письмо 137.	О чудесных свойствах человеческого голоса	301
Письмо 138.	Краткий очерк основных электрических явлений	303

Письмо 139.	Об истинном начале природы, на котором основаны все электрические явления	305
Письмо 140.	Продолжение, и особенно о различном свойстве тел относительно электричества	307
Письмо 141.	О том же	309
Письмо 142.	Об электричестве положительном и отрицательном. Объяснение явления притяжения	311
Письмо 143.	О том же	314
Письмо 144.	Об электрической атмосфере	316
Письмо 145.	Об электризации железного шеста при помощи стеклянного шара	318
Письмо 146.	Об электризации людей и животных	321
Письмо 147.	О характерном различии двух родов электричества — положительного и отрицательного	323
Письмо 148.	Как один и тот же стеклянный шар может производить тот и другой род электричества одновременно?	325
Письмо 149.	О лейденском опыте	327
Письмо 150.	Размышления о происхождении и природе электричества и о других методах, способных возбудить электричество	330
Письмо 151.	О природе грома и молнии. Объяснения античных философов и Декарта, и о сходстве между грозowymi и электрическими явлениями	332
Письмо 152.	Объяснение явлений грома и молнии	333
Письмо 153.	Продолжение этого объяснения	335
Письмо 154.	О возможности предупреждения и устранения пагубных воздействий молнии	337

ТОМ ТРЕТИЙ

Письмо 155.	О знаменитой проблеме долгот. Общее описание Земли, ее оси, двух ее полюсов и экватора	343
Письмо 156.	О величине Земли, о меридианах и кратчайшем расстоянии	345
Письмо 157.	О широте и о том, как она влияет на времена года и продолжительность дня	347
Письмо 158.	О параллелях, первом меридиане и долготах	349
Письмо 159.	О выборе первого меридиана	351
Письмо 160.	О методе определения широты или повышения полюса	354
Письмо 161.	Первый способ подойти к определению долгот — по оценке пройденного пути	356
Письмо 162.	Продолжение предыдущего письма и о недостатках этого первого метода	359
Письмо 163.	Второй метод определения долгот — с помощью точных часов	361
Письмо 164.	Продолжение предыдущего письма и дальнейшие разъяснения	363
Письмо 165.	Затмения Луны как третий метод определения долгот	365
Письмо 166.	Наблюдения затмений спутников Юпитера дают четвертый метод определения долгот	367
Письмо 167.	Движение Луны дает пятый метод определения долгот	370
Письмо 168.	О преимуществах этого последнего метода по сравнению с предыдущими и о степени его точности	372
Письмо 169.	О компасе и свойствах магнитной стрелки	374
Письмо 170.	О склонении компаса и о способе его наблюдения	376
Письмо 171.	Об изменении склонения магнитной стрелки, наблюдаемом в одном и том же месте	378
Письмо 172.	О карте склонений и о том, каким образом она могла бы служить для отыскания долгот	380

Письмо 173.	Почему магнитные стрелки в каждом месте Земли показывают определенное направление; почему это направление в разных местах — различно и по какой причине оно меняется со временем в одном и том же месте	383
Письмо 174.	Дальнейшие объяснения причины и изменения склонения магнитных стрелок	385
Письмо 175.	О наклонении магнитных стрелок	387
Письмо 176.	Об истинном магнитном направлении и о тонкой материи, порождающей магнитную силу	390
Письмо 177.	Продолжение о природе этой магнитной материи и о ее стремительном потоке. О магнитных каналах	392
Письмо 178.	О магнитном вихре и о действии магнитов друг на друга	394
Письмо 179.	О свойствах железа и стали и о том, каким образом они могут получить магнитную силу	397
Письмо 180.	О действии магнитов на железо и о явлениях, наблюдаемых, когда кусочки железа помещают вблизи магнита	399
Письмо 181.	Об оправе магнитов	402
Письмо 182.	О действии и силе оправленных магнитов	404
Письмо 183.	О способе передачи стали магнитной силы. О способе намагничивания стрелки компаса; о простом контакте, его недостатках и средствах их устранения	407
Письмо 184.	О двойном контакте и о средствах сохранения магнитной материи в намагниченных брусках	409
Письмо 185.	Как сообщить стальным брускам очень большую магнитную силу при помощи других брусков, обладающих лишь очень слабой магнитной силой	412
Письмо 186.	Об изготовлении искусственных магнитов в форме подковы	414
Письмо 187.	О диоптрике; об инструментах, которые она дает нам для усиления нашего зрения. О телескопах и микроскопах. О разных формах, которые придают стеклам или линзам	417
Письмо 188.	О различии линз по кривизне их выпуклых и вогнутых поверхностей. Деление линз на три класса	419
Письмо 189.	О действии выпуклых линз	422
Письмо 190.	На ту же тему и о фокусном расстоянии выпуклых линз	424
Письмо 191.	О расстоянии до изображения объектов	426
Письмо 192.	О величине этих изображений	429
Письмо 193.	О зажигательных стеклах	431
Письмо 194.	О камерах-обскурах	433
Письмо 195.	Размышления об изображениях, получаемых в камерах-обскурах	436
Письмо 196.	О волшебных фонарях и солнечных микроскопах	438
Письмо 197.	Об использовании простой выпуклой линзы и о ее действии, если смотреть непосредственно через нее	441
Письмо 198.	Об использовании вогнутой линзы и о ее действии, если смотреть непосредственно через нее	443
Письмо 199.	О видимых размерах, угле зрения и о микроскопах вообще	446
Письмо 200.	Об оценке увеличения объектов, рассматриваемых в микроскопы	448
Письмо 201.	Фундаментальная теорема для конструирования простых микроскопов и расчет некоторых простых микроскопов	450
Письмо 202.	О пределах возможностей и ошибках простых микроскопов	453
Письмо 203.	О телескопах и их действии	456
Письмо 204.	О приближающих или карманных подзорных трубах	458
Письмо 205.	Об их увеличении	461
Письмо 206.	О недостатках этих карманных подзорных труб и о поле зрения	464
Письмо 207.	Определение поля зрения карманной подзорной трубы	466
Письмо 208.	Об астрономических трубах и их увеличении	469

Письмо 209.	Об их поле зрения и о месте глаза наблюдателя	471
Письмо 210.	Определение увеличения, даваемого астрономической трубой, и конструирование таких труб, увеличивающих объекты в заданное число раз	473
Письмо 211.	О степени яркости изображения	476
Письмо 212.	Об отверстиях объективов	478
Письмо 213.	О четкости изображения; о зоне рассеяния, возникающей из-за того, что отверстия объективов имеют определенные размеры, которые и рассматриваются как первый источник недостаточной четкости изображения	480
Письмо 214.	Об уменьшении отверстия объективов и о других способах уменьшения зоны рассеяния и даже сведении ее на нет	483
Письмо 215.	О составных объективах	486
Письмо 216.	О конструировании простых объективов	488
Письмо 217.	Второй источник недостаточной четкости изображения, создаваемого зрительными трубами. О различной преломляемости лучей	491
Письмо 218.	О способе устранения этого недостатка с помощью использования объективов, составленных из стекла и воды	493
Письмо 219.	О другом, более практичном способе уменьшения этого дефекта	495
Письмо 220.	Перечень всех качеств, которыми должна обладать хорошая зрительная труба	498
Письмо 221.	О подзорных трубах с четырьмя линзами для наблюдения земных объектов	500
Письмо 222.	О расположении стекол в этих подзорных трубах	502
Письмо 223.	О некоторых мерах предосторожности при наблюдении за конструированием зрительных труб. О необходимости хорошенько зачернять внутреннюю поверхность труб и о диафрагмах	504
Письмо 224.	Как зрительные трубы представляют нам Луну, планеты, Солнце и неподвижные звезды, почему эти последние кажутся нам в зрительную трубу меньшими, чем они видны невооруженному глазу. Оценка расстояния до неподвижных звезд с помощью сравнения их видимых размеров с Солнцем	506
Письмо 225.	О вопросе, почему Луна и Солнце кажутся нам большими при восходе или заходе, чем тогда, когда они находятся на некоторой высоте? О трудностях, которые встречаются при попытках объяснения этого явления	508
Письмо 226.	Размышления над этим трудным вопросом и попытки сгладить трудности, которые здесь встречаются. Абсурдные объяснения	510
Письмо 227.	Путь к правильному объяснению этого явления: Луна кажется более удаленной от нас тогда, когда она находится у горизонта, чем тогда, когда она высоко в небе	513
Письмо 228.	Небесное пространство представляется нам в виде свода, сплюснутого у зенита	515
Письмо 229.	Свет звезд, которые находятся у горизонта, значительно ослаблен, потому что их лучи должны проходить тогда гораздо больший путь в нижних слоях нашей атмосферы, чем тогда, когда звезды находятся сверху. И именно по этой причине мы считаем, что у горизонта они больше удалены от нас и имеют большие размеры, чем тогда, когда они наверху	517
Письмо 230.	О некоторых других иллюзиях, происходящих от того, что мы считаем объект тем более удаленным от нас, чем слабее кажется нам его свет или блеск. О том, как пользуются этим эффектом художники	519
Письмо 231.	О синеве неба	521
Письмо 232.	О том, что мы увидели бы, если бы воздух был абсолютно прозрачным, и о плачевном положении, в которое нас повергла бы столь совершенная прозрачность воздуха	523
Письмо 233.	О преломлении лучей света при входе их в атмосферу, об эффектах этой рефракции. О сумерках и о видимом восходе и заходе звезд	525

Письмо 234. О том, что звезды кажутся нам находящимися выше, чем в действительности, и о таблице рефракций	527
---	-----

ПРИЛОЖЕНИЯ

Л.Эйлер. Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях (От редакции)	533
Ю. Х. Копелевич, Н. И. Невская, Е. П. Ожигова. История создания «Писем к немецкой прин- цессе» и их адресаты	535
Н. И. Невская. Петербургские источники физических и философских воззрений Эйлера .	555
Е. П. Ожигова. Издания «Писем к немецкой принцессе» и их оценка	610
Я. А. Смородинский. «Письма к немецкой принцессе» Л. Эйлера и наука XVIII в.	617
Комментарии (Н. И. Невская)	636
Список иллюстраций	711

Научное издание

ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР
ПИСЬМА К НЕМЕЦКОЙ ПРИНЦЕССЕ
О РАЗНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ
И ФИЛОСОФСКИХ МАТЕРИЯХ

*Утверждено к печати
Институтом истории естествознания и техники
Российской Академии наук*

Редакторы издательства *Л. М. Романова, А. И. Строева*
Художник *Л. А. Яценко*

Технический редактор *Е. И. Егорова*

Корректоры *О. М. Бобылева, О. И. Буркова, Ю. Б. Григорьева,*
Ф. Я. Петрова и Е. В. Шестакова

Компьютерная верстка *Е. М. Сальниковой*

Лицензия ИД № 02980 от 06 октября 2000 г. Сдано в набор 5.12.01.
Подписано к печати 27.08.02. Формат 70 × 90 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 53.2.

Уч.-изд. л. 57.1. Тираж 1000 экз. Тип. зак. № 3460. С 165

Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука» РАН
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская линия, 1
main@nauka.nw.ru

Санкт-Петербургская типография «Наука» РАН
199034, Санкт-Петербург, 9-я линия, 12

ISBN 5-02-028521-8



9785020285217



Фредерика Шарлотта Леопольдина Луиза фон Брандербург-Шведт.

Портрет работы неизвестного художника. Первая половина XVIII в.
Городской музей г. Херфорда, ныне дом Даниэля Поппельмана.



Луиза Генриетта Вильгельмина фон Ангальт-Дессау.
Государственные замки и сады Вёрлица. Ораншенбаум, Луизиум.
Портрет маслом В. Харткопфа (1862—1918)
с картины Христиана Рейнгольда Лизевского (1725—1794).



Здание Бернской обсерватории, где в тоды работи в Берне
Л. Эйлер был директором.



Замок Вернгероде. Магдебург. ныне Музей феодального периода.



Вид города Магдебурга.



Вёрлиц. Горбатый мостик в ландшафтном парке.



Вёрлиц. Княжеский замок.



Л. Эйлер.

Гравюра В. П. Соколова с портрета работы И. Г. Бруккера. 1737 г.